

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 763 452**

51 Int. Cl.:

**C08H 8/00** (2010.01)

**C08B 37/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.10.2013 PCT/US2013/062785**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.04.2014 WO14055462**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.10.2013 E 13843365 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.09.2019 EP 2904036**

54 Título: **Métodos para elaborar productos compuestos que contienen lignocelulosa**

30 Prioridad:

**01.10.2012 US 201261708395 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**28.05.2020**

73 Titular/es:

**GEORGIA-PACIFIC CHEMICALS LLC (100.0%)  
133 Peachtree Street, N.E.  
Atlanta, GA 30303, US**

72 Inventor/es:

**SNIADY, ADAM K.;  
HAGIOPOL, CORNEL;  
ATKINSON, DEREK L.;  
WILLIAMSON, BOBBY L. y  
HINES, JOHN B.**

74 Agente/Representante:

**MILTENYI , Peter**

ES 2 763 452 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Métodos para elaborar productos compuestos que contienen lignocelulosa

### 5 Antecedentes

Campo

10 Las realizaciones descritas en la presente descripción se refieren, generalmente, a métodos para elaborar productos compuestos que contienen lignocelulosa. Las realizaciones descritas en la presente descripción se refieren, también generalmente, a catalizadores para elaborar productos compuestos que contienen lignocelulosa.

Descripción de la técnica relacionada

15 La producción de productos compuestos de lignocelulosa requiere un adhesivo o aglutinante para unir las partículas, fibras, chapas discretas, u otros sustratos distintos entre sí. Los productos compuestos de lignocelulosa típicos incluyen tableros de partículas, tableros de fibras, madera contrachapada y similares. Los aglutinantes convencionales utilizados en la producción de estos productos contienen, frecuentemente, resinas que contienen formaldehído tales como urea-formaldehído (UF), melamina-formaldehído (MF), melamina-urea-formaldehído (MUF) y fenol-formaldehído (PF). Aunque  
20 las resinas que contienen formaldehído producen productos terminados que tienen propiedades deseables, tales como resistencia, estos aglutinantes también liberan formaldehído al entorno durante la producción del aglutinante, el curado del producto aglutinante/compuesto, así como desde el producto final elaborado usando el aglutinante.

25 Se han utilizado diversas técnicas para reducir la cantidad de formaldehído liberado desde las resinas que contienen formaldehído. Por ejemplo, la adición de depuradores de formaldehído a la resina y/o varias modificaciones en las etapas de síntesis particulares usadas para elaborar la resina que contiene formaldehído, tal como la adición de urea como reactivo final en la síntesis de aglutinante, se usan frecuentemente en un intento de reducir la emisión de formaldehído. Sin embargo, estos intentos para reducir la emisión de formaldehído van acompañados de efectos no deseables tales como un tiempo de curado más prolongado, una menor duración de la resina, menor resistencia del  
30 producto, menor tolerancia a las variaciones de procesamiento y/o inferior resistencia a la humedad.

Por lo tanto, existe la necesidad de métodos mejorados para elaborar productos compuestos que contienen lignocelulosa que tengan una emisión de formaldehído reducida o nula.

### 35 Resumen

Se proporcionan métodos para fabricar productos compuestos. En al menos una realización específica, el método puede incluir combinar una pluralidad de sustratos lignocelulósicos y uno o más precursores de radicales libres para producir una  
40 mezcla de los sustratos lignocelulósicos y el uno o más precursores de radicales libres. El método también puede incluir mantener la mezcla a una temperatura inferior a 60 °C durante al menos 10 minutos mientras se retiene al menos 11 % en peso del uno o más precursores de radicales libres cargados en la mezcla. El método puede incluir a continuación calentar la mezcla que comprende al menos 11 % en peso del uno o más precursores de radicales libres cargados en la mezcla a una temperatura de al menos 60 °C a aproximadamente 300 °C para producir un producto compuesto. El producto compuesto puede tener una densidad inferior a 1 g/cm<sup>3</sup> y una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa.

45 En al menos una realización específica, el método para elaborar un producto compuesto puede incluir combinar una pluralidad de sustratos lignocelulósicos, uno o más precursores de radicales libres, y uno o más compuestos que comprenden al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden extraer en presencia de radicales hidroxilo para producir una mezcla. El método puede incluir también calentar la mezcla que comprende al menos 11 % en  
50 peso del uno o más precursores de radicales libres cargados en la mezcla a una temperatura de al menos 60 °C a aproximadamente 300 °C para producir un producto compuesto.

55 En al menos una realización específica, un producto compuesto puede incluir al menos parcialmente un composición curada que tiene una densidad inferior a 1 g/cm<sup>3</sup> y una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa. La composición, antes del curado, puede incluir una pluralidad de sustratos lignocelulósicos, uno o más precursores de radicales libres, y uno o más compuestos que comprenden al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden extraer en presencia de radicales hidroxilo.

### Descripción detallada

60 La pluralidad de sustratos lignocelulósicos y el uno o más precursores de radicales libres pueden mezclarse, combinarse, agitarse, ponerse en contacto, o combinarse de cualquier otra forma entre sí para producir la mezcla. Uno o más compuestos que comprenden al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden extraer en presencia de radicales hidroxilo se pueden combinar opcionalmente con los sustratos lignocelulósicos y el precursor de radicales  
65 libres y, si está presente, el catalizador para producir la mezcla. La mezcla también puede describirse como una "pulpa", "pulpa mezclada", "mezcla resinada" o "pulpa resinada". La mezcla puede calentarse para producir el

producto compuesto que contiene lignocelulosa o “producto compuesto”. Por ejemplo, la mezcla se puede calentar a una temperatura desde un mínimo de 60 °C, aproximadamente 90 °C, aproximadamente 120 °C, aproximadamente 150 °C, o aproximadamente 160 °C hasta un máximo de aproximadamente 170 °C, aproximadamente 200 °C, aproximadamente 230 °C, aproximadamente 260 °C, o aproximadamente 300 °C para producir el producto compuesto. En otro ejemplo, la mezcla se puede calentar hasta una temperatura de al menos 60 °C, al menos 70 °C, al menos 80 °C, al menos 90 °C, al menos 100 °C, al menos 110 °C, al menos 120 °C, al menos 130 °C, o al menos 140 °C a aproximadamente 150 °C, aproximadamente 155 °C, aproximadamente 160 °C, aproximadamente 165 °C, aproximadamente 170 °C, aproximadamente 180 °C, aproximadamente 200 °C, aproximadamente 225 °C, aproximadamente 250 °C, aproximadamente 275 °C, o aproximadamente 300 °C. En otro ejemplo, la mezcla se puede calentar hasta una temperatura de aproximadamente 140 °C a aproximadamente 200 °C, aproximadamente 155 °C a aproximadamente 175 °C, aproximadamente 160 °C a aproximadamente 210 °C, aproximadamente 160 °C a aproximadamente 175 °C, o aproximadamente 145 °C a aproximadamente 225 °C.

En una o más realizaciones, la mezcla se puede calentar al aire. En una o más realizaciones, la mezcla se puede calentar en una atmósfera inerte o una atmósfera sustancialmente inerte tal como nitrógeno. Si la mezcla se calienta en una atmósfera sustancialmente inerte, la cantidad de oxígeno puede ser menos de aproximadamente 5 % en moles, menos de aproximadamente 3 % en moles, menos de aproximadamente 1 % en moles, menos de aproximadamente 0,5 % moles, o menos de aproximadamente 0,1 % en moles de oxígeno. Los gases inertes adecuados pueden incluir, aunque no de forma limitativa, nitrógeno, argón, o una mezcla de los mismos.

El calentamiento de la mezcla puede producir o promover el curado al menos parcial de la mezcla para producir el producto compuesto. Como se utiliza en la presente descripción, se pretende que los términos “curación”, “curado”, “curación al menos parcial”, “al menos parcialmente curado”, y términos similares se refieran al cambio estructural y/o morfológico que se produce en la mezcla, tal como mediante reacción química covalente (reticulación), interacción iónica o agrupación, transformación o inversión de fase, y/o formación de enlaces de hidrógeno cuando se somete a condiciones suficientes, *p. ej.*, calentamiento suficiente para hacer que las propiedades de un sustrato poroso flexible, tal como una placa o manta no tejida de sustratos lignocelulósicos y/o un sustrato rígido o semirrígido, tales como madera u otro tablero o lámina que contiene lignocelulosa, a la que se ha aplicado una cantidad eficaz del precursor de radicales libres y, opcionalmente, el compuesto polifenólico, se altere.

Cuando la mezcla se calienta, la mezcla puede contener al menos una porción del precursor de radicales libres inicialmente añadido y presente en la mezcla. Dicho de otra forma, al menos una porción del precursor de radicales libres puede permanecer sin reaccionar o de otro modo en la misma forma que cuando se combinan con los componentes adicionales de la mezcla al menos hasta que la mezcla se calienta a una temperatura elevada tal como aproximadamente 60 °C o más. Por ejemplo, si el precursor de radicales libres incluye uno o más antioxidantes, *p. ej.*, peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), al menos una parte del oxidante en forma de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) puede estar presente cuando se inicia o pone en marcha el calentamiento de la mezcla. En una o más realizaciones, la mezcla puede contener al menos 11 % en peso, al menos 13 % en peso, al menos 15 % en peso, al menos 20 % en peso, al menos 25 % en peso, al menos 30 % en peso, al menos 35 % en peso, al menos 40 % en peso, al menos 45 % en peso, al menos 50 % en peso, al menos 55 % en peso, al menos 60 % en peso, al menos 65 % en peso, o al menos 70 % en peso de la cantidad total o inicial del precursor de radicales libres inicialmente presente en la mezcla, *es decir*, la cantidad del precursor de radicales libres combinada con la pluralidad de sustratos de lignocelulosa para producir la mezcla, cuando la mezcla se calienta a una temperatura de al menos 60 °C. En otro ejemplo, la cantidad del precursor de radicales libres presente cuando la mezcla se calienta a una temperatura de al menos 60 °C puede ser al menos 11 % en peso, al menos 13 %, al menos 15 % en peso, al menos 20 % en peso, al menos 25 % en peso, al menos 30 % en peso, al menos 35 % en peso, al menos 40 % en peso, al menos 45 % en peso, al menos 50 % en peso, al menos 55 % en peso, al menos 60 % en peso, al menos 65 % en peso, o al menos 70 % en peso del uno o más precursores de radicales libres combinados con la pluralidad de sustratos lignocelulósicos. En otro ejemplo más, la cantidad del precursor de radicales libres presente cuando la mezcla se calienta a una temperatura de al menos 60 °C, al menos 65 °C, o al menos 70 °C puede ser al menos 11 % en peso, al menos 13 %, al menos 15 % en peso, al menos 20 % en peso, al menos 25 % en peso, al menos 30 % en peso, al menos 35 % en peso, al menos 40 % en peso, al menos 45 % en peso, al menos 50 % en peso, al menos 55 % en peso, al menos 60 % en peso, al menos 65 % en peso, o al menos 70 % en peso del uno o más precursores de radicales libres combinados con la pluralidad de sustratos lignocelulósicos. En otro ejemplo, la mezcla puede contener de aproximadamente 11 % a aproximadamente 95 %, aproximadamente 15 % a aproximadamente 85 %, aproximadamente 20 % a aproximadamente 90 %, aproximadamente 30 % a aproximadamente 80 %, aproximadamente 11 % a aproximadamente 100 %, aproximadamente 35 % a aproximadamente 75 %, aproximadamente 40 % a aproximadamente 70 %, aproximadamente 50 % a aproximadamente 70 %, aproximadamente 60 % a aproximadamente 80 %, aproximadamente 65 % a aproximadamente 85 %, o aproximadamente 30 % a aproximadamente 95 % de la cantidad total de precursor de radicales libres inicialmente presente cuando la mezcla se calienta. En al menos un ejemplo específico, si la mezcla puede incluir aproximadamente 5 % en peso de precursor de radicales libres, basado en el peso seco de los sustratos lignocelulósicos cuando la mezcla se forma inicialmente y cuando la mezcla se calienta hasta una temperatura de 60 °C o más, puede estar presente en la mezcla al menos 11 % del precursor de radicales libres. Dicho de otro modo, si la mezcla contiene aproximadamente 5 % en peso del uno o más precursores de radicales libres, basado en el peso seco de los sustratos lignocelulósicos, después de la

preparación o formación de la mezcla, cuando el calentamiento de la mezcla se inicia o pone en marcha, la mezcla puede tener una concentración de precursor de radicales libres de al menos 11 % del inicial 5 % en peso o 0,55 % en peso, basado en el peso seco de los sustratos lignocelulósicos.

5 En una o más realizaciones, la cantidad del uno o más precursores de radicales libres presente cuando la mezcla se calienta, *p. ej.*, a una temperatura de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 300 °C, puede ser de al menos 0,5 % en peso, al menos 0,7 % en peso, al menos 1 % en peso, al menos 1,2 % en peso, al menos 1,5 % en peso, al menos 1,7 % en peso, al menos 2 % en peso, al menos 2,2 % en peso, al menos 2,5 % en peso, al menos 2,7 % en peso, al menos 3 % en peso, al menos 3,2 % en peso, al menos 3,5 % en peso, al menos 3,7 % en peso, al menos 4 % en peso, al menos 4,2 % en peso, al menos 4,5 % en peso, al menos 4,7 % en peso, o al menos 5 % en peso, basado en el peso seco de la pluralidad de sustratos lignocelulósicos. Por ejemplo, la cantidad del uno o más precursores de radicales libres presente cuando la mezcla se calienta puede ser desde un mínimo de aproximadamente 1 % en peso, aproximadamente 1,5 % en peso, aproximadamente 1,6 % en peso, aproximadamente 1,8 % en peso, o aproximadamente 2,1 % en peso hasta un máximo de aproximadamente 5 % en peso, aproximadamente 7 % en peso, aproximadamente 10 % en peso, aproximadamente 15 % en peso, aproximadamente 20 % en peso o más, basado en el peso seco de la pluralidad de sustratos lignocelulósicos. En otro ejemplo, la cantidad del uno o más precursores de radicales libres presente cuando la mezcla se calienta puede ser de aproximadamente 1 % en peso a aproximadamente 10 % en peso, aproximadamente 1,5 % en peso a aproximadamente 7 % en peso, aproximadamente 2 % en peso a aproximadamente 6 % en peso, aproximadamente 2,5 % en peso a aproximadamente 8 % en peso, aproximadamente 3 % en peso a aproximadamente 5,5 % en peso, aproximadamente 4 % en peso a aproximadamente 6,5 % en peso, aproximadamente 2,2 % en peso a aproximadamente 11 % en peso, o aproximadamente 2,3 % en peso a aproximadamente 6,3 % en peso, basado en el peso seco de la pluralidad de sustratos lignocelulósicos.

La mezcla se puede calentar tan pronto se forme la mezcla. La mezcla puede tenerse, ponerse o mantenerse de cualquier otra manera a una temperatura menor de aproximadamente 60 °C durante un período de tiempo antes de calentar la mezcla hasta una temperatura de al menos 60 °C. Al menos de una forma, la reacción exotérmica entre los componentes de la mezcla puede reducirse considerablemente y/o evitarse de tal manera que la mezcla no aumente significativamente su temperatura hasta que la mezcla se caliente intencionalmente puede ser seleccionar un precursor de radicales libres o mezcla de precursores de radicales libres adecuados. En otras palabras, la temperatura de la mezcla, sin calor externo dirigido a la mezcla, puede permanecer exenta o sustancialmente exenta de la acumulación de exotermia si se selecciona selectivamente un precursor o precursores de radicales libres adecuados. La temperatura particular de la mezcla durante el período de tiempo antes del calentamiento puede depender, al menos en parte, de la temperatura ambiente o ambiental, donde la mezcla esté situada. En una o más realizaciones, la mezcla puede mantenerse a una temperatura inferior a 60 °C sin ningún retirada intencionada de calor de la misma. En una o más realizaciones, la mezcla se puede mantener a una temperatura inferior a 60 °C con retirada de calor de la misma, *p. ej.*, la mezcla se puede introducir dentro de un dispositivo de refrigeración y/o un fluido enfriado tal como aire muy frío puede dirigirse hacia y/o pasar a través de la mezcla. En una o más realizaciones, la mezcla puede mantenerse a una temperatura inferior a 60 °C controlando o ajustando la concentración de agua de la mezcla. Por ejemplo, aumentar la concentración de agua de la mezcla puede reducir, inhibir o evitar que la mezcla experimente una reacción exotérmica.

Antes de calentar la mezcla hasta una temperatura de al menos 60 °C, la mezcla se puede mantener a una temperatura menor de 60 °C, menor de 55 °C, menor de 50 °C, menor de 45 °C, menor de 40 °C, menor de 35 °C, o menor de 30 °C durante al menos 10 minutos, al menos 13 minutos, al menos 15 minutos, al menos 17 minutos, al menos 20 minutos, al menos 23 minutos, al menos 25 minutos, al menos 27 minutos, al menos 30 minutos, al menos 33 minutos, al menos 35 minutos, al menos 37 minutos, al menos 40 minutos, al menos 43 minutos, al menos 45 minutos, al menos 47 minutos, al menos 50 minutos, al menos 53 minutos, al menos 55 minutos, al menos 57 minutos, o al menos 60 minutos. Por ejemplo, la mezcla puede mantenerse a una temperatura menor de 60 °C durante al menos de 10 minutos a aproximadamente 30 minutos, al menos de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 35 minutos, al menos de aproximadamente 20 minutos a aproximadamente 40 minutos, al menos de aproximadamente 18 minutos a aproximadamente 45 minutos, o al menos de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 40 minutos antes de calentar la mezcla a una temperatura de al menos 60 °C. En otro ejemplo, la mezcla puede mantenerse a una temperatura menor de 60 °C durante al menos 10 minutos, aproximadamente 30 minutos, aproximadamente 45 minutos, aproximadamente 1 hora, aproximadamente 2 horas, aproximadamente 3 horas, aproximadamente 5 horas, aproximadamente 12 horas, aproximadamente 18 horas, aproximadamente 24 horas, o aproximadamente 30 horas antes de calentar la mezcla a una temperatura de al menos 60 °C.

Antes de calentar la mezcla a una temperatura de al menos 60 °C, la cantidad de energía generada desde la mezcla debido a una o más reacciones exotérmicas puede ser menos de aproximadamente 35 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 30 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 25 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 23 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 20 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 18 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 16 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 15 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 14 cal/g de la mezcla, o menos de aproximadamente 13,8 cal/g de la mezcla. Por ejemplo, antes de calentar la mezcla a una temperatura de al menos 60 °C, la cantidad de energía generada desde la mezcla debido a una o más reacciones exotérmicas puede ser menos de 14 cal/g, menos de 13,5 cal/g, menos de 13 cal/g, menos de 12,5 cal/g, menos de 12 cal/g, menos de 11,5 cal/g, menos de 11 cal/g, menos de 10,5 cal/g, menos de 10 cal/g, menos de 9,5 cal/g, menos de 9 cal/g, menos de 8,5 cal/g, menos de 8 cal/g, menos de 7,5 cal/g, menos de 7 cal/g, menos de 6,5 cal/g, menos

de 6 cal/g, menos de 5,5 cal/g, menos de 5 cal/g, menos de 4,5 cal/g, menos de 4 cal/g, menos de 3,5 cal/g, menos de 3 cal/g, menos de 2,5 cal/g, menos de 2 cal/g, menos de 1,5 cal/g, menos de 1 cal/g, o menos de 0,5 cal/g de la mezcla.

Los productos compuestos conformados o en forma de un panel, lámina, tablero o similares pueden estar en forma de un prisma rectangular que incluye seis superficies exteriores, es decir, tres pares de superficies orientadas de forma opuesta. El primer par de superficies orientadas de forma opuesta del producto compuesto puede incluir una primera superficie o "superior" y una segunda superficie o "inferior". El segundo y tercer pares de superficies orientadas de forma opuesta del producto compuesto se pueden denominar como "superficies laterales" que tienen un área de superficie inferior al área de superficie de la primera y segunda superficies. De esta forma, los productos compuestos conformados o en forma de un panel, lámina, tablero o similares pueden tener un espesor promedio, en donde el espesor promedio es la longitud o distancia entre la primera y la segunda superficie.

Si el producto compuesto está en forma de un panel, lámina, tablero, o similares, la cantidad o duración de tiempo que se puede calentar la mezcla puede variar desde un mínimo de aproximadamente 5 segundos por milímetro (s/mm), aproximadamente 10 s/mm, aproximadamente 12 s/mm, o aproximadamente 15 s/mm hasta un máximo de aproximadamente 17 s/mm, aproximadamente 19 s/mm, aproximadamente 21 s/mm, aproximadamente 23 s/mm, aproximadamente 25 s/mm, aproximadamente 27 s/mm, aproximadamente 30 s/mm, aproximadamente 35 s/mm, aproximadamente 40 s/mm, aproximadamente 50 s/mm, o aproximadamente 60 s/mm, donde la longitud se refiere al espesor medio del producto compuesto, y donde los intervalos adecuados incluyen la combinación de dos valores cualesquiera. Por ejemplo, la mezcla se puede calentar durante un tiempo de aproximadamente 7 s/mm a aproximadamente 27 s/mm, de aproximadamente 9 s/mm a aproximadamente 24 s/mm, de aproximadamente 11 s/mm a aproximadamente 22 s/mm, de aproximadamente 8 s/mm a aproximadamente 20 s/mm, de aproximadamente 14 s/mm a aproximadamente 18 s/mm, de aproximadamente 6 s/mm a aproximadamente 14 s/mm, de aproximadamente 10 s/mm a aproximadamente 18 s/mm, o de aproximadamente 10 s/mm a aproximadamente 16 s/mm, donde la longitud se refiere al espesor medio del producto compuesto. En otro ejemplo, la mezcla se puede calentar durante un tiempo de menos de 22 s/mm, de menos de 20 s/mm, de menos de 18 s/mm, de menos de 17 s/mm, de menos de 16 s/mm, de menos de 15 s/mm, de menos de 14 s/mm, de menos de 13 s/mm, o de menos de 12 s/mm, donde la longitud se refiere al espesor medio del producto compuesto. En un ejemplo específico, un producto compuesto en forma de un panel, lámina, tablero o similares y que tiene un espesor promedio de aproximadamente 15 mm y sometido a un tiempo de calentamiento total de aproximadamente 4 minutos correspondería a calentar la mezcla durante aproximadamente 16 s/mm. En al menos un ejemplo específico, la mezcla se puede calentar a una temperatura de aproximadamente 160 °C a aproximadamente 170 °C durante un tiempo de 13 s/mm a aproximadamente 19 s/mm.

Opcionalmente, se puede aplicar presión a la mezcla antes, durante y/o después de calentar la mezcla para producir el producto compuesto. Por ejemplo, si la forma o estructura del producto compuesto deseado es un panel, lámina, tablero, o similares, una cantidad suficiente de la mezcla para producir un producto compuesto del tamaño deseado se puede transportar, dirigir, colocar, introducir, disponer o ubicarse de cualquier otra manera dentro de una prensa capaz de presionar la mezcla antes de que la mezcla se caliente y/o cuando la mezcla se calienta. La prensa puede ser una prensa abierta o una prensa cerrada. En al menos una realización específica, puede utilizarse una prensa abierta para presionar la mezcla cuando la mezcla se calienta, *p. ej.*, a una temperatura de aproximadamente 100 °C a aproximadamente 250 °C. En otro ejemplo, la mezcla puede extruirse a través de una matriz (proceso de extrusión) y calentarse para producir el producto compuesto. La mezcla se puede presionar bajo una presión desde un mínimo de aproximadamente 0,5 MPa, aproximadamente 1 MPa, aproximadamente 3 MPa, o aproximadamente 5 MPa hasta un máximo de aproximadamente 7 MPa, aproximadamente 9 MPa, o aproximadamente 11 MPa.

Las prensas abiertas ilustrativas pueden ser tal como se analiza y se describe en las patentes US- 4.017.248; 5.337.655; 5.611.269; 5.950.532; 6.098.532; y 6.782.810. Las prensas abiertas comerciales adecuadas pueden incluir, aunque no de forma limitativa, la prensa CONTIROLL® comercializada por Siempelkamp y la prensa CPS comercializada por Dieffenbacher.

El pH de la mezcla puede ser ácido, neutro o básico. Por ejemplo, el pH de la mezcla puede ser desde un mínimo de aproximadamente 1, de aproximadamente 2, o de aproximadamente 3 hasta un máximo de aproximadamente 4, aproximadamente 5, aproximadamente 6, aproximadamente 7, o de aproximadamente 8, donde los intervalos adecuados incluyen la combinación de dos valores cualesquiera. En otro ejemplo, el pH de la mezcla puede ser de aproximadamente 1 a aproximadamente 6, de aproximadamente 1,5 a aproximadamente 5,5, de aproximadamente 2,5 a aproximadamente 4,5, de aproximadamente 2 a aproximadamente 3,5, o de aproximadamente 2,5 a aproximadamente 3,5. El pH de la mezcla puede ajustarse a cualquier pH deseado al combinar uno o más compuestos básicos, uno o más compuestos ácidos o una combinación de uno o más compuestos básicos y uno o más compuestos ácidos con el mismo.

Los compuestos básicos ilustrativos que pueden utilizarse para ajustar el pH de la mezcla pueden incluir, aunque no de forma limitativa, hidróxidos, carbonatos, amoníaco, aminas, cualquier combinación de los mismos o cualquier mezcla de los mismos. Los hidróxidos ilustrativos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, hidróxido de amonio (*p. ej.*, amoníaco acuoso), hidróxido de litio e hidróxido de cesio. Los carbonatos ilustrativos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, carbonato de sodio, bicarbonato de sodio, carbonato de potasio y carbonato de amonio. Las aminas ilustrativas pueden incluir, aunque no de forma limitativa, trimetilamina, trietilamina, trietanolamina, diisopropiltilamina (base de Hunig), piridina, 4-dimetilaminopiridina (DMAP), y 1,4-diazabicyclo[2.2.2] octano (DABCO).

Los compuestos ácidos ilustrativos que pueden utilizarse para ajustar el pH de la mezcla pueden incluir, aunque no de forma limitativa, uno o más ácidos minerales, uno o más ácidos orgánicos, una o más sales ácidas, cualquier combinación de los mismos, o cualquier mezcla de los mismos. Los ácidos minerales ilustrativos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, ácido clorhídrico, ácido nítrico, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, cualquier combinación de los mismos, o cualquier mezcla de los mismos. Los ácidos orgánicos ilustrativos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, ácido acético, ácido fórmico, ácido cítrico, ácido oxálico, ácido úrico, ácido láctico, cualquier combinación de los mismos, o cualquier mezcla de los mismos. Las sales ácidas ilustrativas pueden incluir, aunque no de forma limitativa, sulfato amónico, bisulfato sódico, metabisulfito sódico, cualquier combinación de los mismos, o cualquier mezcla de los mismos.

La mezcla puede incluir uno o más medios líquidos. El uno o más medios líquidos pueden estar presentes en uno o más de los sustratos lignocelulósicos, el precursor de radicales libres y/o el compuesto opcional que comprende al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo. El medio líquido puede ser o incluir, aunque no de forma limitativa, agua, alcoholes, glicoles, acetonitrilo, dimetil sulfóxido, N,N-dimetilformamida, n-metilpirrolidona, cualquier combinación de los mismos o cualquier mezcla de los mismos. Los alcoholes adecuados pueden incluir, aunque no de forma limitativa, metanol, etanol, propanol, isopropanol, butanol, cualquier combinación de los mismos o cualquier mezcla de los mismos. Los glicoles adecuados pueden incluir, aunque no de forma limitativa, etilenglicol, propilenglicol o una combinación de los mismos. Como se utiliza en la presente descripción, las expresiones “medio acuoso” y “líquido acuoso” pueden ser o incluir agua y/o mezclas compuestas de agua y/u otros disolventes miscibles con agua. Los disolventes miscibles con agua ilustrativos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, alcoholes, éteres, aminas, otros disolventes apróticos polares y similares. En al menos un ejemplo, el medio líquido puede ser agua y el catalizador, el oxidante y/o el compuesto polifenólico pueden combinarse con agua.

La mezcla puede tener un líquido, *p. ej.*, agua, desde un mínimo de aproximadamente 1 % en peso, aproximadamente 3 % en peso, aproximadamente 5 % en peso, o aproximadamente 10 % en peso hasta un máximo de aproximadamente 12 % en peso, aproximadamente 14 % en peso, aproximadamente 16 % en peso, aproximadamente 18 % en peso, aproximadamente 20 % en peso, aproximadamente 22 % en peso, o aproximadamente 24 % en peso, basados en el peso total de la mezcla, con intervalos adecuados que incluyen la combinación de dos valores cualesquiera. Por ejemplo, cuando la mezcla contiene agua como el líquido, la mezcla puede tener un contenido de humedad de aproximadamente 10 % en peso a aproximadamente 25 % en peso, aproximadamente 12 % en peso a aproximadamente 20 % en peso, aproximadamente 11 % en peso a aproximadamente 19 % en peso, aproximadamente 13 % en peso a aproximadamente 18 % en peso, aproximadamente 15 % en peso a aproximadamente 18 % en peso, aproximadamente 12 % en peso a aproximadamente 17 % en peso o aproximadamente 14 % en peso a aproximadamente 17 % en peso basado en el peso total de la mezcla.

Los componentes de la mezcla se pueden combinar simultáneamente o en cualquier orden o secuencia de uno con respecto al otro. Por ejemplo, el precursor de radicales libres y, si está presente, el uno o más compuestos que tienen al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo pueden combinarse con los sustratos lignocelulósicos simultáneamente. En otro ejemplo, el precursor de radicales libres puede combinarse con los sustratos lignocelulósicos para producir una primera mezcla y después el compuesto opcional que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo puede combinarse con la primera mezcla para producir la mezcla. En otro ejemplo, el compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo se puede combinar con los sustratos lignocelulósicos para producir una primera mezcla o una mezcla parcial, y después el precursor de radicales libres puede combinarse con la primera mezcla o la mezcla parcial para producir la mezcla.

Si el precursor de radicales libres incluye dos o más componentes, por ejemplo, un catalizador y un oxidante, los componentes del precursor de radicales libres pueden combinarse con los sustratos lignocelulósicos y el compuesto opcional que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo en cualquier orden o secuencia. Por ejemplo, si el precursor de radicales libres incluye un catalizador y un oxidante, el catalizador puede combinarse con los sustratos lignocelulósicos para producir una primera mezcla parcial y el oxidante puede combinarse con la primera mezcla parcial para producir la mezcla o viceversa. En otro ejemplo, el catalizador y el compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo se pueden combinar entre sí para producir una primera mezcla parcial, la primera mezcla parcial se puede combinar con los sustratos lignocelulósicos para producir una segunda mezcla parcial, y el oxidante puede combinarse con la segunda mezcla parcial para producir la mezcla. En otro ejemplo más, el oxidante y el compuesto que tienen al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo se pueden combinar entre sí para producir una primera mezcla parcial, la primera mezcla parcial se puede combinar con los sustratos lignocelulósicos para producir una segunda mezcla parcial, y el catalizador se puede combinar con la segunda mezcla parcial para producir la mezcla. En otro ejemplo, el oxidante y el catalizador pueden combinarse entre sí para producir una primera mezcla parcial, la primera mezcla parcial puede combinarse con los sustratos lignocelulósicos para producir una segunda mezcla parcial, y el compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo se pueden combinar con la segunda mezcla parcial para producir la mezcla.

Los componentes de la mezcla pueden introducirse o ponerse en contacto de cualquier otra manera mediante cualquier método de suministro adecuado. Por ejemplo, los sustratos lignocelulósicos pueden estar en un recipiente u otro recipiente

y el precursor de radicales libres y, si está presente, el compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo se puede pulverizar o dirigir de cualquier otra manera sobre los sustratos lignocelulósicos para producir la mezcla. En otro ejemplo, el precursor de radicales libres y, si está presente, el compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo se pueden verter o cepillar sobre los sustratos lignocelulósicos. En otro ejemplo, los sustratos lignocelulósicos se pueden dirigir, transportar, introducir, o de cualquier otra forma transportar a un recipiente que ya contiene uno o más de los demás componentes de la mezcla. Dicho de otra manera, los sustratos lignocelulósicos pueden sumergirse, remojar o de cualquier otra manera ponerse en contacto con el precursor de radicales libres y, opcionalmente, el compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo.

Como se utiliza en la presente descripción, el término precursor de radicales libres se refiere a cualquier compuesto o mezcla de compuestos que pueden generar radicales cuando se someten a condiciones predeterminadas. Por ejemplo, el precursor de radicales libres puede ser un compuesto o mezcla de compuestos que pueden generar radicales cuando se calientan a una temperatura predeterminada. En otro ejemplo, el precursor de radicales libres puede ser un compuesto o mezcla de compuestos que pueden generar radicales cuando el peróxido de hidrógeno (oxidante) se somete a reacción con uno o más metales de transición (catalizador).

La cantidad de precursor de radicales libres presente en la mezcla puede depender, al menos en parte, de la composición particular del precursor de radicales libres, sustratos lignocelulósicos y/o, si está presente, el compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo y, por lo tanto, pueden variar ampliamente. Por ejemplo, la cantidad de precursor de radicales en la mezcla puede ser de aproximadamente 1 % en peso a aproximadamente 200 % en peso, basado en el peso seco de los sustratos lignocelulósicos. En otro ejemplo, la cantidad de precursor de radicales en la mezcla pueden ser desde un mínimo de aproximadamente 1 % en peso, de aproximadamente 5 % en peso, de aproximadamente 10 % en peso, o de aproximadamente 20 % en peso hasta un máximo de aproximadamente 80 % en peso, aproximadamente 100 % en peso, aproximadamente 120 % en peso, o de aproximadamente 150 % en peso, basado en el peso seco de los sustratos lignocelulósicos, con intervalos adecuados que incluyen la combinación de dos valores cualesquiera. En otro ejemplo, el precursor de radicales puede estar presente en la mezcla en una cantidad de aproximadamente 0,1 % en peso a aproximadamente 30 % en peso, aproximadamente 1 % en peso a aproximadamente 20 % en peso, aproximadamente 5 % en peso a aproximadamente 50 % en peso, aproximadamente 10 % en peso a aproximadamente 70 % en peso, aproximadamente 0,5 % en peso a aproximadamente 25 % en peso, aproximadamente 3 % en peso a aproximadamente 6 % en peso o aproximadamente 2 % en peso a aproximadamente 8 % en peso, basándose en el peso seco de los sustratos lignocelulósicos. En otro ejemplo adicional, el precursor de radicales puede estar presente en la mezcla en cantidad de aproximadamente 0,1 % en peso a aproximadamente 10 % en peso, aproximadamente 1 % en peso a aproximadamente 12 % en peso, aproximadamente 2 % en peso a aproximadamente 9 % en peso, aproximadamente 3 % en peso a aproximadamente 9 % en peso, aproximadamente 5 % en peso a aproximadamente 15 % en peso, aproximadamente 4 % en peso a aproximadamente 6 % en peso, aproximadamente 8 % en peso a aproximadamente 20 % en peso o aproximadamente 2 % en peso a aproximadamente 10 % en peso, basándose en el peso seco de los sustratos lignocelulósicos.

En una o más realizaciones, la cantidad del precursor de radicales libres en la mezcla puede ser de aproximadamente 3 % en peso, aproximadamente 4 % en peso, aproximadamente 5 % en peso, aproximadamente 6 % en peso, aproximadamente 7 % en peso, aproximadamente 8 % en peso, aproximadamente 9 % en peso o aproximadamente 10 % en peso, y antes de calentar la mezcla a una temperatura de al menos 60 °C, la cantidad de la energía generada desde la mezcla debido a una o más reacciones exotérmicas puede ser menos de aproximadamente 75 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 69 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 62 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 55 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 48 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 42 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 34 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 27 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 20 cal/g de la mezcla, o menos de aproximadamente 13 cal/g de la mezcla. Por ejemplo, la cantidad del precursor de radicales libres en la mezcla puede ser de aproximadamente 3 % en peso antes de calentar la mezcla a una temperatura de al menos 60 °C, la cantidad de energía generada desde la mezcla debido a una o más reacciones exotérmicas puede ser menos de aproximadamente 21 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 20 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 18 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 16 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 14 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 12 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 10 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 8 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 6 cal/g de la mezcla, o menos de aproximadamente 4 cal/g de la mezcla. En otro ejemplo, la cantidad del precursor de radicales libres en la mezcla puede ser de aproximadamente 4 % y antes de calentar la mezcla a una temperatura de al menos 60 °C, la cantidad de energía generada desde la mezcla debido a una o más reacciones exotérmicas puede ser menos de aproximadamente 28 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 26 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 24 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 22 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 20 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 18 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 16 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 14 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 12 cal/g de la mezcla, o menos de aproximadamente 10 cal/g de la mezcla. En otro ejemplo, la cantidad del precursor de radicales libres en la mezcla puede ser de aproximadamente 5 % en peso y antes de calentar la mezcla a una temperatura de al menos 60 °C, la cantidad de energía generada desde la mezcla debido a una o más reacciones exotérmicas puede ser menos de aproximadamente 35 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 33 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 31 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 29 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 27 cal/g de la

mezcla, menos de aproximadamente 25 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 23 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 21 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 19 cal/g de la mezcla, o menos de aproximadamente 17 cal/g de la mezcla. En otro ejemplo, la cantidad del precursor de radicales libres en la mezcla puede ser de aproximadamente 6 % en peso antes de calentar la mezcla a una temperatura de al menos 60 °C, la cantidad de energía generada desde la mezcla debido a una o más reacciones exotérmicas puede ser menos de aproximadamente 42 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 40 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 38 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 36 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 34 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 32 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 30 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 28 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 26 cal/g de la mezcla, o menos de aproximadamente 24 cal/g de la mezcla. En otro ejemplo, la cantidad del precursor de radicales libres en la mezcla puede ser de aproximadamente 7 % y antes de calentar la mezcla a una temperatura de al menos 60 °C, la cantidad de energía generada desde la mezcla debido a una o más reacciones exotérmicas puede ser menos de aproximadamente 49 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 45 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 40 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 35 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 30 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 25 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 20 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 15 cal/g de la mezcla, menos de aproximadamente 10 cal/g de la mezcla, o menos de aproximadamente 8 cal/g de la mezcla.

Los precursores de radicales libres ilustrativos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, uno o más compuestos azo, uno o más oxidantes, una combinación o mezcla de uno o más catalizadores y uno o más oxidantes, o cualquier mezcla o combinación de los mismos. Los compuestos azo ilustrativos pueden representarse mediante la fórmula general R-N=N-R, donde R y R' pueden ser independientemente arilo sustituido o alquilo sustituido. El término "arilo" se refiere a un sustituyente aromático que contiene un único anillo aromático o múltiples anillos aromáticos que están condensados entre sí, unidos covalentemente, o unidos a un grupo común tal como, por ejemplo un resto metileno o etileno. Los grupos arilo más específicos contienen un anillo aromático o dos o tres anillos aromáticos condensados o unidos, *p. ej.*, fenilo, naftilo, bifenilo, antraceno, fenantreno y similares. En una o más realizaciones, los sustituyentes arilo pueden tener de 1 a aproximadamente 20 átomos de carbono. El alquilo puede incluir alquilos ramificados o no ramificados que tienen de 1 a aproximadamente 15 átomos de carbono o más preferiblemente de 1 a aproximadamente 8 átomos de carbono. Los alquilos ilustrativos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, metilo, etilo, n-propilo, isopropilo, isobutilo, n-butilo, sec-butilo, t-butilo, n-pentilo, n-hexilo y etilhexilo. Los compuestos de tipo azo adecuados pueden incluir, aunque no de forma limitativa, azobisisobutironitrilo (AIBN).

El catalizador, si está presente en el precursor de radicales libres, puede denominarse, además, un iniciador, un promotor, un reductor y/o un acelerador. Los catalizadores adecuados pueden ser o incluyen, aunque no de forma limitativa, iones de metal, aminas terciarias, aminas terciarias poliméricas, poliaminas, fosfatos, bisulfitos, metabisulfitos, tetraacetilendiamina, cianamidas, luz ultravioleta, cualquier combinación de los mismos, o cualquier mezcla de los mismos. Se puede combinar cualquier catalizador o combinación de catalizadores con los sustratos lignocelulósicos y el oxidante para producir la mezcla. Además de o en lugar de poner en contacto los sustratos lignocelulósicos con un oxidante y/o catalizador, se pueden usar ondas ultrasónicas, reacciones fotoFenton y/o electroFenton (generación in situ de radicales hidroxilo por radiación o corrientes eléctricas).

Los metales adecuados pueden incluir uno o más átomos de metal del Grupo 3 al Grupo 12. Como se utiliza en la presente descripción, todas las referencias a la Tabla periódica de los elementos y sus grupos se refieren a la nueva notación publicada en HAWLEY'S CONDENSED CHEMICAL DICTIONARY, Decimotercera Edición, John Wiley & Sons, Inc., (1997) (reproducida en el mismo con permiso de la IUPAC), salvo que se indique lo contrario. Los metales de transición ilustrativos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, iones metálicos de hierro, cobre, manganeso, tungsteno, molibdeno, cobalto, titanio o cualquier combinación o mezcla de los mismos. El metal puede estar en forma de óxido. El metal puede estar en la forma de una sal o complejo. Por ejemplo, el metal puede estar unido a uno o más agentes o compuestos formadores de complejos. Los agentes formadores de complejos o los compuestos formadores de complejos pueden incluir, aunque de forma limitativa, cianuro (CN<sup>-</sup>), sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), ácido etilendiamina-*N,N'*-disuccínico (EDDS), ácido etilenglicol bis(2-aminoetil éter)-*N,N,N',N'*-tetraacético (EGTA), ácido dietilentriaminopentaacético (DTPA), ácido trans-1,2-diaminociclohexano tetraacético (CDTA), iminodisuccinato (IDS), ácido nitrilotetraacético (NTA), o cualquier combinación o mezcla de los mismos. Otros compuestos formadores de complejos pueden incluir fosfatos, o agentes formadores de complejos de tipo ácido fosfónico, ácido oxálico, ácido ascórbico, nitrilo, ácido gálico, ácido fulvico o polioxometalatos.

En una o más realizaciones, el catalizador puede incluir iones Fe<sup>2+</sup> o Fe<sup>3+</sup> tales como sulfato de hierro(II), óxido de hierro(II), sulfato de hierro(III), óxido de hierro(III). Otros catalizadores que contienen iones de hierro pueden incluir, aunque no de forma limitativa, [Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>3-</sup>, ferrocianuro [Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>4-</sup>, y/o [Fe(CN)<sub>5</sub>NO]<sup>2-</sup>. Por ejemplo, el catalizador puede ser o incluir, aunque no de forma limitativa, ferricianuro potásico (K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]), ferricianuro potásico (K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]), hexacianoamonio ferrato(II) ((NH<sub>4</sub>)<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]·xH<sub>2</sub>O), hexacianoferrato(II) de amonio hierro (III) hidrato, ferrocianuro de sodio decahidrato (Na<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]·10H<sub>2</sub>O), nitroprusiato de sodio dihidratado (Na<sub>2</sub>[Fe(CN)<sub>5</sub>NO]·2H<sub>2</sub>O). Otro catalizador adecuado que contiene hierro puede incluir, aunque no de forma limitativa, Fe[EDTA], Fe[EDDS], Fe[DTPA], Fe[EGTA], Fe[CDTA], Fe[IDS], o cualquier mezcla de los mismos. En al menos una realización específica, el catalizador preferiblemente incluye ferrocianuro, *p. ej.*, ferrocianuro de potasio, un complejo de hierro y ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), un complejo de hierro y ácido (*S,S*)-etilendiamina-*N,N'*-disuccínico ((*S,S*)-EDDS), un complejo de hierro y ácido (*R,R*)-etilendiamina-*N,N'*-disuccínico

((R,R)-EDDS), un complejo de hierro y ácido (R,S)-etilendiamina-*N,N'*-disuccínico ((R,S)-EDDS), un complejo de hierro y ácido dietilentriaminapentaacético (DTPA), un complejo de hierro y ácido trans-1,2-diaminociclohexano tetraacético (DCTA), un complejo de hierro e iminodisuccinato (IDS), o cualquier mezcla de los mismos.

- 5 Las aminas terciarias pueden representarse mediante la fórmula general  $NR_1R_2R_3$ , donde cada  $R_1$ ,  $R_2$ , y  $R_3$  se selecciona independientemente entre alquilos, cicloalquilos, heterocicloalquilos, arilos, heteroarilos y arilos sustituidos. El alquilo puede incluir alquilos ramificados o no ramificados que tienen de 1 a aproximadamente 15 átomos de carbono o más preferiblemente de 1 a aproximadamente 8 átomos de carbono. Los alquilos ilustrativos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, metilo, etilo, n-propilo, isopropilo, n-butilo, sec-butilo, t-butilo, n-pentilo, n-hexilo y etilhexilo. Los cicloalquilos pueden incluir de 3 a 7 átomos de carbono. Los cicloalquilos ilustrativos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, ciclopentilo, ciclopentilo sustituido, ciclohexilo, y ciclohexilo sustituido. El término "arilo" se refiere a un sustituyente aromático que contiene un único anillo aromático o múltiples anillos aromáticos que están condensados entre sí, unidos covalentemente, o unidos a un grupo común tal como, por ejemplo un resto metileno o etileno. Los grupos arilo más específicos contienen un anillo aromático o dos o tres anillos aromáticos condensados o unidos, *p. ej.*, fenilo, naftilo, bifenilo, antraceno, fenantreno y similares. Los sustituyentes arilo pueden incluir de 1 a aproximadamente 20 átomos de carbono. La expresión "que contiene heteroátomo" como en un "grupo cicloalquilo que contiene heteroátomo", se refiere a una molécula o fragmento molecular en el que uno o más átomos de carbono se sustituye por un átomo diferente al átomo de carbono, *p. ej.*, nitrógeno, oxígeno, azufre, fósforo, boro, o silicio. De forma similar, el término "heteroarilo" se refiere a un sustituyente arilo que contiene heteroátomo. El término "sustituido", como en "arilos sustituidos", se refiere a una molécula o fragmento molecular en el que al menos un átomo de hidrógeno unido a un átomo de carbono se sustituye con uno o más sustituyentes que son grupos funcionales tales como grupos hidroxilo, alcoxi, alquiltio, fosfino, amino, halo, sililo, y similares. Las aminas terciarias ilustrativas pueden incluir, aunque no de forma limitativa, trimetilamina, trietilamina, trietanolamina, cualquier combinación de las mismas, o cualquier mezcla de las mismas. Las aminas terciarias poliméricas ilustrativas incluyen aunque no de forma limitativa, poli(N-metil-dialil amina), poli(N-dimetil-vinil amina), copolímeros de N-dimetil-vinil amina, cualquier combinación de los mismos, o cualquier mezcla de los mismos. Las poliaminas ilustrativas pueden incluir, aunque no de forma limitativa, dietilentriamina ("DETA"), trietilentetramina ("TETA"), tetraetilenpentamina ("TEPA"). Otras poliaminas pueden incluir, por ejemplo, 1,3-propanodiamina, 1,4-butanodiamina, poliamidoaminas, y polietileniminas.
- 10
- 15
- 20
- 25
- 30 Los fosfatos ilustrativos pueden ser o incluyen, aunque no de forma limitativa, potasio, fosfato, fosfato sódico, fosfato amónico, o cualquier combinación o mezcla de los mismos. Los bisulfitos ilustrativos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, bisulfito sódico. Los metabisulfitos ilustrativos pueden ser o incluyen, aunque no de forma limitativa, metabisulfito de sodio, metabisulfito de potasio o cualquier combinación o mezcla de los mismos. Las cianamidas ilustrativas pueden incluir, aunque no de forma limitativa, cianamida, cianamida cálcica, hidrogenocianamida sódica, cualquier combinación de los mismos, o cualquier mezcla de los mismos.
- 35

La cantidad de catalizador, si está presente en el precursor de radicales libres, puede variar ampliamente. Por ejemplo, la cantidad de catalizador en la mezcla puede ser desde un mínimo de aproximadamente 0,0001 % en peso, aproximadamente 0,0001 % en peso, aproximadamente 0,001 % en peso, aproximadamente 0,01 % en peso, o aproximadamente 0,1 % en peso, aproximadamente 0,5 % en peso, aproximadamente 1 % en peso, aproximadamente 3 % en peso, aproximadamente 5 % en peso, aproximadamente 10 % en peso, o aproximadamente 20 % en peso, basado en el peso seco de los sustratos lignocelulósicos, con intervalos adecuados que incluyen la combinación de dos valores cualesquiera. En otro ejemplo, la cantidad de catalizador en la mezcla puede ser de aproximadamente 0,01 % en peso a aproximadamente 1,5 % en peso, aproximadamente 0,1 % en peso a aproximadamente 1,3 % en peso, aproximadamente 0,05 % en peso a aproximadamente 0,5 % en peso, aproximadamente 0,07 % en peso a aproximadamente 0,4 % en peso, aproximadamente 0,05 % en peso a aproximadamente 5 % en peso, basado en el peso seco de los sustratos lignocelulósicos. En otro ejemplo, la cantidad del catalizador en la mezcla puede ser de aproximadamente 0,001 % en peso a aproximadamente 0,5 % en peso, aproximadamente 0,15 % en peso a aproximadamente 0,35 % en peso, aproximadamente 0,1 % en peso a aproximadamente 0,4 % en peso, aproximadamente 0,1 % en peso a aproximadamente 2 % en peso, aproximadamente 0,05 % en peso a aproximadamente 3 % en peso, aproximadamente 0,05 % en peso a aproximadamente 0,35 % en peso, aproximadamente 0,1 % en peso a aproximadamente 4,5 % en peso, aproximadamente 0,15 % en peso a aproximadamente 4 % en peso, aproximadamente 0,05 % en peso a aproximadamente 3 % en peso, o aproximadamente 0,01 % en peso a aproximadamente 3,5 % en peso, basado en el peso seco de los sustratos lignocelulósicos.

40

45

50

En una o más realizaciones, la cantidad del metal, si está presente en el catalizador, que puede permanecer unido al agente formador de complejos hasta que la mezcla se calienta, *p. ej.*, a una temperatura de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 300 °C, puede ser al menos al menos 11 %, al menos 13 %, al menos 15 %, al menos 20 %, al menos 25 %, al menos 30 %, al menos 35 %, al menos 40 %, al menos 45 %, al menos 50 %, al menos 55 %, al menos 60 %, al menos 65 %, o al menos 70 % de la cantidad de metal que estaba inicialmente presente en la mezcla y unido al agente formador de complejos. En otro ejemplo, la cantidad del metal, si está presente en el catalizador, esto puede permanecer unido al agente formador de complejos hasta que la mezcla se calienta, *p. ej.*, a una temperatura de aproximadamente de 60 °C a aproximadamente 300 °C, puede ser de aproximadamente 11 % a aproximadamente 95 %, de aproximadamente 15 % a aproximadamente 85 %, de aproximadamente 20 % a aproximadamente 90 %, de aproximadamente 30 % a aproximadamente 80 %, de aproximadamente 11 % a aproximadamente 100 %, de aproximadamente 35 % a aproximadamente 75 %, de aproximadamente 40 % a

55

60

65

aproximadamente 70 %, o de aproximadamente 30 % a aproximadamente 95 % de la cantidad del metal que estaba inicialmente presente en la mezcla y unido al agente formador de complejos.

5 El catalizador, si se combina con un medio líquido, puede tener una concentración total de sólidos en el intervalo de aproximadamente 0,001 % en peso a aproximadamente 99,9 % en peso. Preferiblemente, si el catalizador se  
combina con un medio líquido, el catalizador y la mezcla de medio líquido puede tener una concentración de  
sólidos desde un mínimo de aproximadamente 0,1 % en peso, aproximadamente 0,5 % en peso,  
aproximadamente 1 % en peso, o aproximadamente 2 % en peso hasta un máximo de aproximadamente 4 % en  
10 peso, aproximadamente 5 % en peso, aproximadamente 6 % en peso, aproximadamente 7 % en peso, o  
aproximadamente 8 % en peso, basado en el peso combinado del catalizador y el medio líquido, con intervalos  
adecuados que incluyen la combinación de dos valores cualesquiera.

15 El oxidante, si está presente en el precursor de radicales libres, puede ser o incluir cualquier oxidante o combinación  
de oxidantes adecuados. El oxidante puede ser un sólido, un líquido, un gas o una fase múltiple. Los oxidantes  
ilustrativos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, compuestos peroxi inorgánicos y/u orgánicos, ozónidos,  
oxidantes que contienen halógeno, cualquier combinación de los mismos, o cualquier mezcla de los mismos. Los  
compuestos peroxi inorgánicos ilustrativos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, peróxido de hidrógeno,  
compuestos generadores de peróxido de hidrógeno, *p. ej.*, sales de metal alcalino de percarbonato, perborato,  
20 peroxisulfato, peroxifosfato y/o peroxisilicato y/o ácidos débiles correspondientes. Los compuestos peroxi orgánicos  
ilustrativos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, peróxido de t-butilo, peróxido de benzoilo, ácidos  
peroxycarboxílicos, ácido peracético, ácido perbenzoico, hidroperóxidos, *p. ej.*, hidroperóxidos de t-butilo, o cualquier  
combinación o mezcla de los mismos. Los oxidantes que contienen halógeno ilustrativos pueden incluir, aunque no  
de forma limitativa, clorito de metal alcalino, hipoclorito de metal alcalino, dióxido de cloro y/o una sal de cloruro de  
25 sodio de ácido cianúrico. Un ozónido ilustrativo puede incluir, aunque no de forma limitativa, dimetiloxirano.

30 El oxidante puede combinarse con uno o más medios líquidos. Por ejemplo, el oxidante puede ser o incluir una  
solución acuosa de peróxido de hidrógeno. La concentración de oxidante, *p. ej.*, peróxido de hidrógeno,  
combinado con un medio líquido, *p. ej.*, agua, puede ser desde un mínimo de aproximadamente 1 % en peso, de  
aproximadamente 3 % en peso, de aproximadamente 5 % en peso, de aproximadamente 10 % en peso, de  
aproximadamente 15 % en peso, aproximadamente 20 % en peso, aproximadamente 25 % en peso, o de  
30 aproximadamente 30 % en peso hasta un máximo de aproximadamente 50 % en peso, de aproximadamente  
60 % en peso, aproximadamente 70 % en peso, aproximadamente 80 % en peso, aproximadamente 90 % en  
peso, o aproximadamente 98 % en peso, basado en el peso combinado del oxidante y el medio líquido, con  
intervalos adecuados que incluyen la combinación de dos valores cualesquiera.

35 La cantidad de oxidante presente en la mezcla puede depender, al menos en parte, del oxidante, catalizador,  
sustratos lignocelulósicos, y/o, si está presente, el compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se  
pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo concretos y, por tanto, pueden variar ampliamente. Por ejemplo, la  
cantidad de oxidante en la mezcla puede ser de aproximadamente 1 % en peso a aproximadamente 200 % en peso,  
40 basado en el peso seco de los sustratos lignocelulósicos. En otro ejemplo, la cantidad de oxidante en la mezcla  
puede ser desde un mínimo de aproximadamente 1 % en peso, de aproximadamente 5 % en peso, de  
aproximadamente 10 % en peso, o de aproximadamente 20 % en peso hasta un máximo de aproximadamente 80 %  
en peso, aproximadamente 100 % en peso, aproximadamente 120 % en peso, o de aproximadamente 150 % en  
peso, basado en el peso seco de los sustratos lignocelulósicos, con intervalos adecuados que incluyen la  
45 combinación de dos valores cualesquiera. En otro ejemplo, el oxidante puede estar presente en la mezcla en una  
cantidad de aproximadamente 0,1 % en peso a aproximadamente 30 % en peso, aproximadamente 1 % en peso a  
aproximadamente 20 % en peso, aproximadamente 5 % en peso a aproximadamente 50 % en peso,  
aproximadamente 10 % en peso a aproximadamente 70 % en peso, aproximadamente 0,5 % en peso a  
aproximadamente 25 % en peso, aproximadamente 3 % en peso a aproximadamente 6 % en peso o  
50 aproximadamente 2 % en peso a aproximadamente 8 % en peso, basándose en el peso seco de los sustratos  
lignocelulósicos. En otro ejemplo adicional, el oxidante puede estar presente en la mezcla en cantidad de  
aproximadamente 0,1 % en peso a aproximadamente 10 % en peso, aproximadamente 1 % en peso a  
aproximadamente 12 % en peso, aproximadamente 2 % en peso a aproximadamente 9 % en peso,  
aproximadamente 3 % en peso a aproximadamente 9 % en peso, aproximadamente 5 % en peso a  
55 aproximadamente 15 % en peso, aproximadamente 4 % en peso a aproximadamente 6 % en peso,  
aproximadamente 8 % en peso a aproximadamente 20 % en peso o aproximadamente 2 % en peso a  
aproximadamente 10 % en peso, basándose en el peso seco de los sustratos lignocelulósicos.

60 En una o más realizaciones, la cantidad de oxidante, si está presente o en el precursor de radicales libres, que  
pueden permanecer presentes hasta que la mezcla se calienta, *p. ej.*, a una temperatura de al menos 60 °C a  
aproximadamente 300 °C, puede ser al menos al menos 11 %, al menos 13 %, al menos 15 %, al menos 20 %, al  
menos 25 %, al menos 30 %, al menos 35 %, al menos 40 %, al menos 45 %, al menos 50 %, al menos 55 %, al  
menos 60 %, al menos 65 %, o al menos 70 % de la cantidad de oxidante inicialmente presente en la mezcla. En  
otro ejemplo, la cantidad del oxidante, si está presente en el precursor de radicales libres, que pueden permanecer  
65 presente hasta que la mezcla se calienta, *p. ej.*, a una temperatura de aproximadamente 60 °C a aproximadamente  
300 °C, puede ser aproximadamente 11 % a aproximadamente 95 %, de aproximadamente 15 % a

aproximadamente 85 %, de aproximadamente 20 % a aproximadamente 90 %, de aproximadamente 30 % a aproximadamente 80 %, de aproximadamente 11 % a aproximadamente 100 %, de aproximadamente 35 % a aproximadamente 75 %, de aproximadamente 40 % a aproximadamente 70 %, o de aproximadamente 30 % a aproximadamente 95 % de la cantidad del oxidante inicialmente presente en la mezcla.

5 El uno o más compuestos opcionales que tienen por lo menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo pueden ser o incluyen, pero no se limitan a, una o más ligninas, una o más resinas novolac, una o más resinas de fenol-formaldehído modificadas, bis-fenol A, ácido húmico o cualquier combinación o mezcla de los mismos. Si dos o más compuestos que tienen al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo están presentes, los dos o más compuestos que tienen al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo pueden estar presentes en cualquier cantidad con respecto a la otra. El uno o más compuestos que tienen al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo pueden estar en forma de un sólido, un líquido, o un “bifásico” o una mezcla líquida/sólida.

15 La lignina es una sustancia polimérica que puede incluir compuestos aromáticos sustituidos que se encuentran en las plantas y en la materia vegetal asociada con la celulosa y otros constituyentes vegetales. Las plantas y la materia vegetal ilustrativas pueden incluir, aunque no de forma limitativa, paja, cáñamo, sisal, algodón en rama, trigo, bambú, hierba de sabai, paja de arroz, hojas de plátano, papel de mora (*es decir*, fibra de bastilla), hojas de albahaca, hojas de piña, hojas de esparto, fibras del género *Hesperaloe* de la familia *Agavaceae* del yute, cañizo, hojas de palma, lino, cáscaras de nuez molidas, madera dura, madera blanda, tableros de fibra reciclada tales como tablero de alta densidad, tablero de media densidad, tablero de baja densidad, tablero de fibras orientadas, tablero de partículas, o cualquier combinación de los mismos. Por ejemplo, la materia vegetal puede ser o incluir madera, por ejemplo, maderas duras, maderas blandas, o una combinación de las mismas. Los tipos de madera ilustrativos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, aliso, fresno, álamo, tilo americano, haya, abedul, cedro, cereza, álamo, ciprés, olmo, abeto, goma, almeza, nogal, arce, roble, pacana, pino, álamo, secoya, sasafrás, abeto, sicomoro, nogal y sauce.

La lignina puede extraerse, separarse o recuperarse de cualquier otra forma de la madera, planta y/o materia vegetal usando cualquier número de procesos bien establecidos. Por ejemplo, en la industria de la pulpa y papel, los materiales que contienen lignina tales como madera, paja, tallos del maíz, bagazo, y otros tejidos vegetales y de plantas se pueden procesar para recuperar la celulosa o la pulpa mediante los bien conocidos procesos kraft o de sulfato o el bien conocido proceso del sulfito. Los licores residuales de la formación de pulpa que incluyen lignina como subproducto pueden ser una fuente de lignina. La estructura química de la lignina puede variar y la variación puede depender, al menos en parte, de la planta particular de la cual se recupera la lignina, ubicación de crecimiento de la planta, y/o del método particular usado en la recuperación o aislamiento de la lignina de la planta y/o material vegetal. La lignina puede incluir grupos activos, tales como hidrógenos activos y/o grupos hidroxilo fenólicos en los que se puede efectuar la reticulación o unión con puente.

Un proceso para recuperar lignina puede ser o incluir el proceso habitualmente denominado como proceso de organosolv. El proceso de organosolve utiliza un disolvente orgánico para solubilizar lignina y hemicelulosas. El proceso organosolve puede incluir la puesta en contacto del material lignocelulósico, *p. ej.*, virutas o partículas de madera, con una solución acuosa de disolvente orgánico a una temperatura desde un mínimo de aproximadamente 130 °C, aproximadamente 140 °C, o aproximadamente 150 °C hasta un máximo de aproximadamente 200 °C, aproximadamente 220 °C, o aproximadamente 230 °C. La lignina puede descomponerse por escisión hidrolítica de los enlaces alfa ariléter en fragmentos que pueden solubilizarse en el sistema disolvente. Los disolventes ilustrativos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, acetona, metanol, etanol, butanol, etilenglicol, ácido fórmico, ácido acético, cualquier combinación de los mismos, o cualquier mezcla de los mismos. La solución acuosa de disolvente orgánico puede tener una concentración del disolvente en agua desde un mínimo de 30 % en peso, aproximadamente 40 % en peso o de aproximadamente 50 % en peso hasta un máximo de aproximadamente 70 % en peso, aproximadamente 80 % en peso, o de aproximadamente 90 % en peso.

50 Dado que la lignina separada de la planta puede estar químicamente alterada con respecto a la que se encuentra en las plantas, el término “lignina” también puede referirse a productos de lignina obtenidos por separación de la celulosa o recuperados de la materia vegetal. Por ejemplo, en un proceso de pulpación con sulfito, el material lignocelulósico se puede digerir con bisulfito o sulfito, dando como resultado la sulfonación al menos parcial de la lignina. Así, la lignina puede someterse, opcionalmente, a escisiones adicionales y/u otras modificaciones tales como tratamiento o reacción alcalina con otros constituyentes para disminuir el contenido de sulfonato o azufre y/o aumentar los grupos activos. Por ejemplo, la lignina se puede procesar de forma que tenga un contenido en hidroxilo fenólico de aproximadamente 1,5 % en peso a aproximadamente 5 % en peso y menos de aproximadamente 3 % en peso de sulfonato de azufre. En otros métodos de recuperación o separación de lignina de madera, planta o material vegetal, la lignina puede no estar sulfonada, pero podría modificarse químicamente de alguna otra manera. Por ejemplo, en los licores residuales de pulpa obtenidos de procesos de fabricación de pulpa con sulfato o sustancias alcalinas, la lignina puede estar presente como una sal de metal alcalino disuelta en la solución acuosa alcalina y puede incluir, generalmente, un contenido de hidroxilo fenólico suficiente para no necesitar ninguna modificación adicional. Sin embargo, la lignina alcalina o kraft puede hacerse reaccionar adicionalmente con otros constituyentes para aumentar aún más los grupos activos. La “lignina de hidrólisis” que se puede recuperar de la hidrólisis de materiales lignocelulósicos en la fabricación del azúcar, por ejemplo, también pueden estar alterados en cierto grado respecto al que se encuentra en la planta. Así, la lignina de hidrólisis se puede modificar adicionalmente para solubilizar la lignina así como para aumentar el contenido de hidroxilo

fenólico. También, los productos de lignina tales como solución de formación de pulpa residual pueden someterse a diversos tratamientos tales como, por ejemplo, tratamientos ácidos, alcalinos o térmicos o hacerse reaccionar con el resto de sustancias químicas, lo que puede alterar además algunos de los componentes de la lignina.

5 Las soluciones de formación de pulpa residuales o los productos de lignina producidos durante la separación o recuperación de lignina de materiales lignocelulósicos pueden incluir lignina de diferentes pesos moleculares promedio ponderados (PM) comprendidos de aproximadamente 300 a más de 100.000. Por ejemplo, la lignina puede tener un MW desde un mínimo de aproximadamente 500, aproximadamente 1.000, aproximadamente 5.000, aproximadamente 10.000, aproximadamente 15.000, o de aproximadamente 20.000 hasta un máximo de aproximadamente 30.000, aproximadamente 45.000, aproximadamente 55.000, aproximadamente 70.000, aproximadamente 80.000, aproximadamente 85.000, aproximadamente 90.000, o de aproximadamente 95.000, donde los intervalos adecuados incluyen la combinación de cualesquiera dos valores. En otro ejemplo, la lignina puede tener un Mw desde un mínimo de aproximadamente 300, aproximadamente 500, aproximadamente 800, aproximadamente 900, aproximadamente 1.000, o de aproximadamente 1.100 hasta un máximo de aproximadamente 1.300, aproximadamente 1.500, aproximadamente 1.900, aproximadamente 2.300, aproximadamente 2.500, aproximadamente 2.700, aproximadamente 3.000, aproximadamente 3.300, aproximadamente 3.500, aproximadamente 3.700, aproximadamente 4.000, aproximadamente 4.300, aproximadamente 4.500, aproximadamente 4.700, o de aproximadamente 5.000, donde los intervalos adecuados incluyen la combinación de cualesquiera dos valores. En otro ejemplo, la lignina puede tener un Mw de un aproximadamente 500 a aproximadamente 30.000, aproximadamente 1.000 a aproximadamente 15.000, aproximadamente 800 a aproximadamente 6.000, aproximadamente 2.000 a aproximadamente 12.000, aproximadamente 400 a aproximadamente 10.000, o de aproximadamente 600 a aproximadamente 8.000. En otro ejemplo, el Mw de la lignina puede ser de aproximadamente 600 a aproximadamente 4.500, aproximadamente 350 a aproximadamente 1.100, aproximadamente 750 a aproximadamente 2.500, aproximadamente 950 a aproximadamente 3.100, aproximadamente 1.500 a aproximadamente 3.400, o de aproximadamente 1.800 a aproximadamente 4.200.

25 Las soluciones de las cuales se puede recuperar la lignina también pueden incluir uno o más constituyentes adicionales, además de la lignina. Por ejemplo, en el proceso de preparación de pulpa con sulfito, el licor de sulfito agotado puede incluir lignosulfonatos que pueden estar presentes como sales de cationes, tales como magnesio, calcio, amonio, sodio y/u otros cationes. Los sólidos del licor de sulfito agotado pueden incluir de aproximadamente 40 % en peso a aproximadamente 65 % en peso de lignosulfonatos siendo el resto carbohidratos y otros constituyentes orgánicos e inorgánicos disueltos en el licor. Los productos de lignina producidos por otros procesos de fabricación de pulpa también pueden incluir otros materiales tales como carbohidratos, productos de degradación de carbohidratos y materiales resinosos que se separan de los materiales celulósicos con la lignina. Cabe destacar que no es necesario separar la lignina de los otros constituyentes que puedan estar presentes.

35 El material de lignina adecuado puede incluir, aunque no de forma limitativa, lignina en su estado natural o nativo, es *decir*, lignina no modificada ni alterada, lignosulfonatos, o cualquier combinación o mezcla de los mismos. Los lignosulfonatos adecuados pueden incluir, aunque no de forma limitativa, lignosulfonato de amonio, lignosulfonato sódico, lignosulfonato cálcico, lignosulfonato magnésico, o cualquier combinación o mezcla de los mismos.

40 Los procesos adecuados para aislar o separar de otra manera la lignina o productos que contienen lignina de la madera, plantas, u otro material que contiene lignina pueden incluir los descritos en las patentes de EE. UU.: 1.856.567; 2.525.433; 2.680.113; 2.690.973; 3.094.515; 3.158.520; 3.503.762; 3.585.104; 3.726.850; 3.769.272; 3.841.887; 4.100.016; 4.131.564; 4.184.845; 4.308.203; 4.355.996; 4.470.876; 4.740.591; y 4.764.596; publicación de solicitud de patente EE. UU. núms.: 2011/0294991; y publicaciones WO con números de publicación WO1992/018557A1, WO1993/021260A2; WO1994/024192A1; WO2005/062800A2; WO2006/031 175 A1; y WO2011/150508. La lignina comercialmente disponible puede incluir, aunque no de forma limitativa, lignosulfonatos comercializados por Tembec (Canadá).

50 La resina novolac se puede producir al hacer reaccionar un componente fenol con un componente de aldehído o uno o varios compuestos de aldehído en presencia de un catalizador ácido. El componente de fenol de la resina novolac puede incluir una variedad de compuestos fenólicos sustituidos, compuestos fenólicos no sustituidos o cualquier combinación de compuestos fenólicos sustituidos o no sustituidos. Por ejemplo, el componente de fenol puede ser fenol en sí, es *decir*, monohidroxi benceno. Los ejemplos de fenoles sustituidos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, fenoles sustituidos con alquilo tales como cresoles y xilenos; fenoles sustituidos con cicloalquilos, tales como ciclohexilfenol; fenoles sustituidos con alqueno; fenoles sustituidos con arilo tales como p-fenilfenol; fenoles sustituidos con alcoxi tales como 3,5-dimetoxifenol; ariloxifenoles tales como p-fenoxifenol; y fenoles sustituidos con halógeno tales como p-clorofenol. También pueden utilizarse fenoles dihidricos tales como catecol, resorcinol, hidroquinona, bis-fenol A y Bis-fenol F. Los ejemplos específicos de compuestos fenólicos adecuados (componentes de fenol) para sustituir una parte o todo el fenol usado para preparar una resina novolac pueden incluir, aunque no de forma limitativa, bis-fenol A, bis-fenol F, o-cresol, m-cresol, p-cresol, 3,5-xilenol, 3,4-xilenol, 3,4,5-trimetilfenol, 3-etil fenol, 3,5-dietil fenol, p-butyl fenol, 3,5-dibutyl fenol, p-amil fenol, p-ciclohexil fenol, p-octil fenol, 3,5 dicitlohexil fenol, p-fenil fenol, p-fenol, 3,5-dimetoxi fenol, 3,4,5 trimetoxi fenol, p-etoxi fenol, p-butoxi fenol, 3-metil-4-metoxi fenol, p-fenoxi fenol, naftol, antranol y derivados sustituidos de los mismos. Preferiblemente, aproximadamente 80 % en peso o más, aproximadamente 90 % en peso o más, o aproximadamente 95 % o más en peso del fenol componente incluye fenol (monohidroxibenceno).

65

Los compuestos de aldehído ilustrativos pueden incluir los denominados aldehídos enmascarados o equivalentes de aldehído, tales como acetales o hemiacetales. Los aldehídos adecuados pueden representarse mediante la fórmula general R'CHO, donde R' es un hidrógeno o un radical hidrocarbonado que tiene generalmente 1 - 8 átomos de carbono. Los ejemplos específicos de compuestos de aldehído adecuados pueden incluir, aunque no de forma limitativa, formaldehído, acetaldehído, propionaldehído, butiraldehído, furfuraldehído, benzaldehído, cualquier combinación de los mismos o cualquier mezcla de los mismos. Como se utiliza en la presente descripción, el término "formaldehído" puede referirse a formaldehído, derivados de formaldehído, otros aldehídos, o combinaciones de los mismos. Preferiblemente, el componente de aldehído es formaldehído. También se pueden usar uno o más aldehídos difuncionales para producir la resina novolac y, de forma ventajosa, podrían usarse para introducir reticulaciones definitivas en la resina de novolac al menos parcialmente curada.

El aldehído puede usarse en muchas formas tales como sólido, líquido y/o gas. Considerando el formaldehído en particular, el formaldehído puede ser o incluir paraformol (formaldehído sólido polimerizado), soluciones de formalina (soluciones acuosas de formaldehído, algunas veces con metanol, en concentraciones de formaldehído del 37 por ciento, 44 por ciento o 50 por ciento). También se puede utilizar urea-formaldehído concentrado ("UFC") y/o formaldehído gaseoso en lugar de o además de otras formas de formaldehído. En otro ejemplo, el aldehído puede ser o incluir una mezcla de urea-formaldehído previamente reaccionada que tiene una relación de peso de aproximadamente 1:2 a aproximadamente 1:3.

Una relación molar de formaldehído a fenol utilizada para producir la resina novolac puede ser de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 0,95 o más preferiblemente de aproximadamente 0,7 a aproximadamente 0,85. La reacción entre el fenol y el formaldehído para producir la resina novolac se puede llevar a cabo en presencia de un catalizador ácido en condiciones ácidas. Los catalizadores ácidos adecuados pueden incluir, aunque no de forma limitativa, ácido oxálico, ácido sulfúrico, ácido p-toluensulfúrico, ácido clorhídrico, ácido salicílico, ácidos minerales y sales de los mismos, cualquier combinación de los mismos o cualquier mezcla de los mismos. Los sistemas catalizadores mixtos, tales como ZnOAc/ácido oxálico y otros compuestos de metal divalente, *p. ej.*, acetatos, se pueden utilizar para preparar resinas novolac "alto orto". Los compuestos metálicos divalentes pueden incluir Ca, Mg, Zn, Cd, Pb, Cu, CO y Ni. Los catalizadores preferidos incluyen ácido oxálico, ácido sulfúrico, ácido p-toluenosulfónico y ZnOAc/ácido oxálico. Con la máxima preferencia, el catalizador es ácido oxálico o ZnOAc/ácido oxálico.

La cantidad de catalizador ácido usado para producir la resina novolac puede ser suficiente para catalizar la reacción entre el fenol y el formaldehído para producir la resina novolac. La reacción de fenol/formaldehído se puede llevar a cabo de aproximadamente 1 a aproximadamente 6 horas, *p. ej.*, de aproximadamente 2 a aproximadamente 4 horas. La reacción de fenol/formaldehído se puede llevar a cabo a una temperatura de aproximadamente 80 °C a aproximadamente 100 °C, *p. ej.*, aproximadamente 95 °C a aproximadamente 100 °C. La reacción se puede llevar a cabo a presión atmosférica, aunque se puede utilizar presión aumentada para permitir la aplicación de temperaturas más altas y, por lo tanto, velocidades de reacción más rápidas y, en consecuencia, tiempos de reacción más cortos.

La resina novolac se puede tratar para eliminar el agua y/u otros materiales orgánicos volátiles mediante calentamiento, tal como por destilación. Después de este tratamiento, el fenol libre puede constituir aproximadamente de 0,001 % a aproximadamente 2,0 %, preferiblemente de aproximadamente 0,001 % a aproximadamente 0,5 %. La destilación de la resina novolac resultante se puede realizar a presión atmosférica por calentamiento hasta aproximadamente 140 °C, y después al vacío hasta que la resina alcanza una temperatura de aproximadamente 180 °C a aproximadamente 220 °C. Otros métodos adecuados para tratar la resina mediante calor pueden incluir evaporadores de película fina. La resina novolac fundida resultante se puede enfriar hasta una temperatura inferior a aproximadamente 100 °C.

Si se desea, la resina novolac se puede neutralizar. La neutralización de la resina novolac se puede lograr mediante la adición de una o más bases o compuestos base, tales como hidróxido de sodio y/o hidróxido de potasio o su equivalente. El compuesto base se puede añadir en una cantidad suficiente para elevar el pH de la resina novolac a de aproximadamente 5 a aproximadamente 9, *p. ej.*, de aproximadamente 6 a aproximadamente 8. De forma típica, puede añadirse de aproximadamente 10 % en peso a aproximadamente 30 % en peso de agua, basado en los sólidos totales de la resina. Las resinas novolac y de novolac invertido pueden ser las que se analizan y describen en la patente US-5.670.571 y en la publicación de solicitud de patente US-2008/0280787.

Como se utiliza en la presente descripción, el término "tanino" se refiere tanto a taninos hidrolizables como taninos condensados. Así, el compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo puede ser o incluir taninos hidrolizables, taninos condensados, o una combinación de taninos hidrolizables y taninos condensados. Los géneros ilustrativos de arbustos y/o árboles a partir de los cuales se pueden derivar los taninos adecuados pueden incluir, aunque no de forma limitativa, *Acacia*, *Castanea*, *Vachellia*, *Senegalia*, *Terminalia*, *Phyllanthus*, *Caesalpinia*, *Quercus*, *Schinopsis*, *Tsuga*, *Rhus*, *Juglans*, *Carya* y *Pinus*, cualquier combinación de los mismos, o cualquier mezcla de los mismos. En otro ejemplo, los géneros de los cuales se pueden derivar los taninos adecuados pueden incluir, aunque no de forma limitativa, *Schinopsis*, *Acacia*, o una combinación de estos. En otro ejemplo, los géneros de los cuales se pueden derivar los taninos adecuados pueden incluir, aunque no de forma limitativa, *Pinus*, *Carya*, o una combinación de los mismos.

Los taninos hidrolizables son mezclas de fenoles simples tales como pirogalol y ácido elágico y ésteres de un azúcar, *p. ej.* glucosa, con gálico y ácidos digálicos. Los taninos hidrolizables ilustrativos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, los extractos recuperados de *Castanea sativa*, (*p. ej.*, castaña), *Terminalia* y *Phyllanthus* (*p. ej.*, especies de mirobolano arbóreas), *Caesalpinia coriaria* (*p. ej.*, divi-divi), *Caesalpinia spinosa*, (*p. ej.*, tara), algarobilla, valonea, y *Quercus* (*p. ej.*, roble). Los taninos condensados son polímeros formados por la condensación de flavanos. Los taninos condensados pueden ser moléculas lineales o ramificadas. Los taninos condensados ilustrativos pueden incluir, aunque no de forma limitativa *Acacia mearnsii* (*p. ej.*, extracto de corteza de acacia o mimosa), *Schinopsis* (*p. ej.*, extracto de madera de quebracho), *Tsuga* (*p. ej.*, extracto de corteza de cicuta), *Rhus* (*p. ej.*, extractos de zumaque), *Juglans* (*p. ej.*, nogal), *Carya illinoensis* (*p. ej.*, pacana), y *Pinus* (*p. ej.*, pino de California, pino rodeno, especies de extracto de corteza).

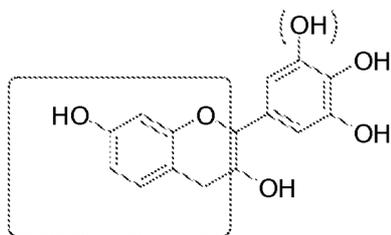
Los taninos condensados incluyen de forma típica de aproximadamente 70 % en peso a aproximadamente 80 % en peso de ingredientes activos fenólicos (la “fracción de tanino”) y el resto de los ingredientes (la “fracción no de tanino”) incluyen típicamente, aunque no de forma limitativa, carbohidratos, gomas hidrocoloides, alquilacrilamidas y fracciones de aminoácidos y/o iminoácidos. Los taninos condensados pueden usarse como recuperados o extraídos de la materia orgánica o los taninos condensados se pueden purificar, *p. ej.*, aproximadamente 95 % en peso o más de ingredientes fenólicos activos. Los taninos hidrolizables y los taninos condensados pueden extraerse de la materia prima, *p. ej.*, árboles y/o arbustos, utilizando procesos bien establecidos. Un análisis más detallado de los taninos se analiza y se describe en el Handbook of Adhesive Technology, Segunda edición, CRC Press, 2003, capítulo 27, “Natural Phenolic Adhesives I: Tannin,” y en Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources, Elsevier, 2008, capítulo 8, “Tannins: Major Sources, Properties and Applications”.

Los taninos condensados pueden clasificarse o agruparse en una de dos categorías principales, principalmente, las que contienen una unidad de resorcinol y las que contienen una unidad de floroglucinol. Los taninos ilustrativos que incluyen la unidad de resorcinol incluyen, aunque no de forma limitativa, taninos de acacia negra y taninos de quebracho. La unidad de resorcinol puede representarse mediante la siguiente fórmula I.



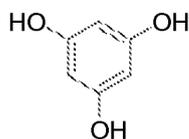
fórmula I

El grupo resorcinol se muestra dentro de la caja que cubre la estructura unitaria de taninos de acacia negra y quebracho en la fórmula II siguiente. Por simplicidad, la estructura de taninos de acacia negra y quebracho está representada por su estructura unitaria flavonoide.



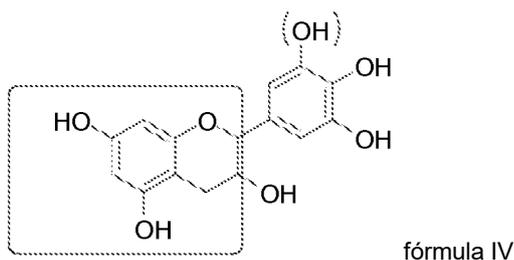
fórmula II

Los taninos ilustrativos que incluyen la unidad de floroglucinol incluyen, aunque no de forma limitativa, taninos de pecana y taninos de pino. La unidad de floroglucinol puede representarse mediante la siguiente fórmula III.



fórmula III

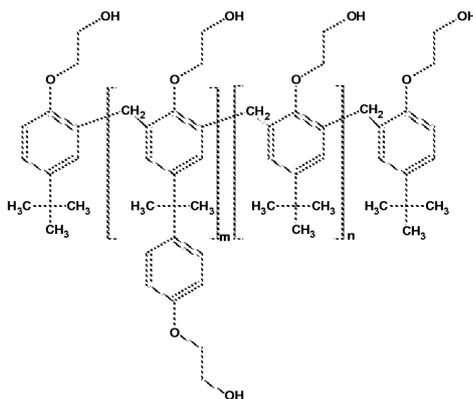
La unidad de floroglucinol se muestra dentro de la caja que cubre la estructura unitaria de taninos de pecana y pinos en la fórmula IV siguiente. Por simplicidad, la estructura de taninos de pecana y pino está representada por su estructura unitaria flavonoide.



El floroglucinol es conocido por ser más reactivo que el resorcinol. De esta forma, los taninos que incluyen la unidad de floroglucinol son más reactivos que los taninos que incluyen la unidad de resorcinol.

5 Los taninos pueden tener un pH ácido. Por ejemplo, el pH de los taninos puede ser desde un mínimo de aproximadamente 3, de aproximadamente 3,5, o de aproximadamente 4 hasta un máximo de aproximadamente 5, aproximadamente 5,5, aproximadamente 6, o de aproximadamente 6,5, donde los intervalos adecuados incluyen la combinación de dos valores cualesquiera. Los taninos pueden tener grupos funcionales de resorcinol y/o  
10 floroglucinol. Los taninos comercialmente disponibles pueden incluir pero sin limitarse, tanino de acacia negra, tanino de quebracho, tanino de cicuta, taninos de zumaque, tanino de pecana, tanino de mimosa, taninos de pino, cualquier combinación de los mismos, o cualquier mezcla de los mismos.

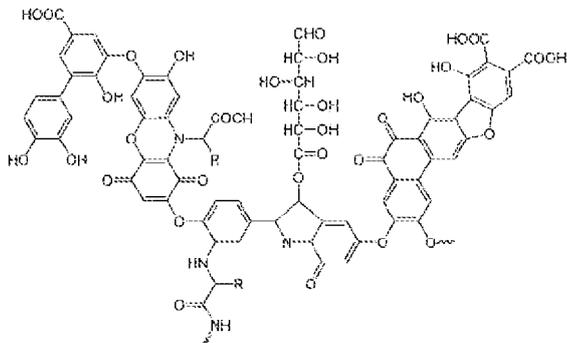
15 Las resinas de fenol-formaldehído modificadas ilustrativas pueden incluir ARYLZENE®, que se puede representar por la fórmula general IX:



donde  $n=3$  y  $0,8 < m < 1,5$

20 Otras resinas de fenol-formaldehído modificadas ilustrativas pueden ser, o incluyen, las analizadas y descritas en las patentes US- 5.674.970; 5.739.259; 5.756.642; 5.756.655; 5.770.750; 5.773.552; 5.837.798; 5.889.137; 6.166.151; 6.291.077; 6.399.740; y 6.569.953.

25 El ácido húmico puede representarse por la fórmula general X:



30 El compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se extraen en presencia de radicales hidroxilo, el tanino, la lignina y/o la resina novolac, se pueden combinar con un medio líquido. El compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo cuando se combina con un medio líquido puede tener

una concentración total de sólidos en peso comprendida de aproximadamente 1 % a aproximadamente 99 % en peso. Por ejemplo, el compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo combinado con un medio líquido puede tener una concentración de sólidos desde un mínimo de 5 % en peso, de aproximadamente 10 % en peso, de aproximadamente 15 % en peso, o de aproximadamente 20 % en peso hasta un máximo de aproximadamente 40 % en peso, de aproximadamente 50 % en peso, de aproximadamente 60 % en peso, aproximadamente 70 % en peso, o de aproximadamente 80 % en peso, basado en el peso combinado del compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo y el medio líquido. En otro ejemplo, el compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo combinado con un medio líquido puede tener una concentración de sólidos de aproximadamente 40 % a aproximadamente 60 %, de aproximadamente 45 % a aproximadamente 55 %, o aproximadamente 47 % a aproximadamente 50 %. En otro ejemplo, el compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo combinado con un medio líquido puede tener una concentración de sólidos de aproximadamente 10 % a aproximadamente 30 %, de aproximadamente 15 % a aproximadamente 35 %, de aproximadamente 20 % a aproximadamente 40 %, de aproximadamente 25 % a aproximadamente 45 %, de aproximadamente 20 % a aproximadamente 50 %, o aproximadamente 35 % a aproximadamente 55 %.

Como se utiliza en la presente descripción, la concentración de sólidos o el contenido en sólidos del compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo, *p. ej.*, lignina, tanino, y/o resina novolac, como entiende un experto en la técnica, se puede medir determinando la pérdida de peso durante el calentamiento de una muestra pequeña, *p. ej.*, 1-5 gramos del compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo, a una temperatura adecuada, *p. ej.*, 125 °C, y un tiempo suficiente para eliminar cualquier líquido combinado con los anteriores. Cuando se mide el peso de la muestra antes y después del calentamiento, el porcentaje de sólidos de la muestra se puede calcular directamente o estimarse de cualquier otra forma.

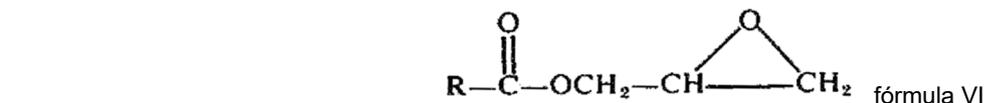
Uno cualquiera o más de los compuestos que tienen al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo se pueden modificar con uno o más compuestos que tienen uno o más enlaces carbono-carbono y uno o más grupos funcionales reactivos. Por ejemplo, la mezcla puede incluir uno o más compuestos modificados que tienen al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo producidos haciendo reaccionar al menos parcialmente uno o más monómeros insaturados que tienen uno o más grupos funcionales reactivos con uno o más compuestos que tienen al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo, *p. ej.*, fenol, tanino, resina novolac, resina de fenol-formaldehído modificada, bis-fenol A y/o ácido húmico. Se pueden usar cualesquiera compuestos adecuados que tengan uno o más enlaces carbono-carbono y uno o más grupos funcionales reactivos o una combinación de compuestos que tienen uno o más enlaces carbono-carbono y uno o más grupos funcionales reactivos para producir el compuesto modificado que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo. Preferiblemente, los compuestos que tienen uno o más enlaces carbono-carbono y uno o más grupos funcionales reactivos son no iónicos. Los compuestos ilustrativos que tienen uno o más enlaces carbono-carbono y uno o más grupos funcionales reactivos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, uno o más glicidil éteres insaturados, uno o más glicidil ésteres insaturados, uno o más monoepóxidos insaturados, uno o más compuestos de metilol insaturados, anhídrido maleico, cualquier combinación de los mismos, o cualquier mezcla de los mismos.

Los éteres glicídicos insaturados ilustrativos se pueden representar por la fórmula general V:



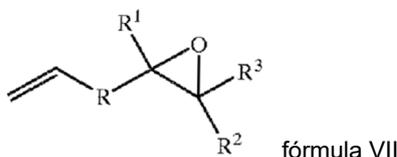
donde R puede ser un radical etilénicamente insaturado, tal como vinilo, alilo, alquenilo y similares. Los éteres glicídicos adecuados pueden incluir, aunque no de forma limitativa, vinil glicidil éter, isopropenil glicidil éter, oleil glicidil éter, alil glicidil éter, p-vinilglicidil éter, o-alil fenil glicidil éter, butenilglicidil éter, 4-vinilciclohexenilmetil glicidil éter, abietilglicidil éter, ciclohexeneilmetil glicidil éter, metalil glicidil éter, cualquier combinación de los mismos, o cualquier mezcla de los mismos.

Los ésteres glicídicos insaturados ilustrativos se pueden representar por la fórmula general VI:



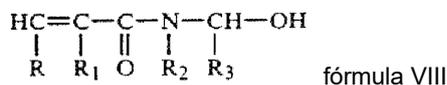
donde R puede ser un radical alquilo insaturado no sustituido que tiene de dos a 19 átomos de carbono. Los ésteres glicídicos adecuados pueden incluir, aunque no de forma limitativa, metacrilato de glicidilo, acrilato de glicidilo, crotonato de glicidilo, oleato de glicidilo, maleato de diglicidilo, fumarato de glicidilo, cualquier combinación de los mismos o cualquier mezcla de los mismos.

Los monoepóxidos insaturados ilustrativos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, compuestos epoxídicos lineales o cicloalifáticos, en donde la insaturación se encuentra en el extremo. Los monoepóxidos insaturados adecuados se pueden representar por la fórmula general VII:



5 donde R puede ser un enlace simple o un alquileo que contiene opcionalmente grupos alquilo colgantes; R<sup>1</sup>, R<sup>2</sup>, y R<sup>3</sup> pueden ser independientemente hidrógeno, alquilo lineal, ramificado o cíclico, o dos cualesquiera de R<sup>1</sup>, R<sup>2</sup>, o R<sup>3</sup> pueden ser alquileo y combinarse para formar un anillo cíclico de 5 a 12 átomos de carbono, que contienen  
10 opcionalmente grupos alquilo colgantes; y el número de átomos de carbono en R, R<sup>1</sup>, R<sup>2</sup>, y R<sup>3</sup> puede ser tal que el número total de átomos de carbono en el epóxido es de 4 a 50. Los monoepóxidos insaturados adecuados puede incluir, aunque no de forma limitativa óxido de 4-vinilciclohexeno, monóxido de 1-metil-4-isopropenil ciclohexeno, monóxido de butadieno, cualquier combinación de los mismos o cualquier mezcla de los mismos.

15 Los compuestos de metilol insaturados ilustrativos pueden representarse mediante la fórmula general VIII:



20 donde R, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, y R<sub>3</sub> pueden ser independientemente hidrógeno o un grupo hidrocarbilo, *p. ej.*, un grupo alquilo, que contiene de aproximadamente 1 a aproximadamente 6 átomos de carbono. Por ejemplo, un grupo alquilo puede incluir de 1 a 4 átomos de carbono. En al menos un ejemplo, cada uno de R, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, y R<sub>3</sub> puede ser independientemente metilo o hidrógeno. Los compuestos de metilol insaturados adecuados pueden incluir, aunque no de forma limitativa, N-metilol acrilamida, N-metilol metacrilamida, N-metilol crotonamida, cualquier combinación de los mismos, o cualquier mezcla de los mismos. La amida de N-metilol parcialmente insaturada puede estar en forma de una solución acuosa.

25 En al menos un ejemplo, el compuesto modificado que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo puede estar exento o prácticamente exento de cualesquiera monómeros aniónicos. Por ejemplo, el compuesto modificado que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo pueden contener menos de aproximadamente 3 % en peso, menos de aproximadamente 2,5 % en peso, menos de aproximadamente 2 % en peso, menos de aproximadamente 1,5 % en peso, menos de aproximadamente 1 % en peso, menos de aproximadamente 0,7 % en peso, menos de aproximadamente 0,5 % en peso, menos de aproximadamente 0,3 % en peso, menos de aproximadamente 0,1 % en peso, menos de aproximadamente 0,05 % en peso, o menos de aproximadamente 0,01 % en peso de monómeros aniónicos. En al menos un ejemplo, el compuesto modificado que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo puede estar exento o prácticamente exento de cualesquiera monómeros iónicos. Por ejemplo, el compuesto modificado que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo pueden contener menos de aproximadamente 3 % en peso, menos de aproximadamente 2,5 % en peso, menos de aproximadamente 2 % en peso, menos de aproximadamente 1,5 % en peso, menos de aproximadamente 1 % en peso, menos de aproximadamente 0,7 % en peso, menos de aproximadamente 0,5 % en peso, menos de aproximadamente 0,3 % en peso, menos de aproximadamente 0,1 % en peso, menos de aproximadamente 0,05 % en peso, o menos de aproximadamente 0,01 % en peso de monómeros iónicos. En al menos otro ejemplo, el compuesto modificado que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo puede estar exento o prácticamente exento de cualesquiera monómeros aniónicos e iónicos. Por ejemplo, el compuesto modificado que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo pueden contener menos de aproximadamente 3 % en peso, menos de aproximadamente 2,5 % en peso, menos de aproximadamente 2 % en peso, menos de aproximadamente 1,5 % en peso, menos de aproximadamente 1 % en peso, menos de aproximadamente 0,7 % en peso, menos de aproximadamente 0,5 % en peso, menos de aproximadamente 0,3 % en peso, menos de aproximadamente 0,1 % en peso, menos de aproximadamente 0,05 % en peso, o menos de aproximadamente 0,01 % en peso de monómeros aniónicos e iónicos. Como se utiliza en la presente descripción, las expresiones “prácticamente exento de monómeros aniónicos” y “prácticamente exento de monómeros iónicos” significa que el compuesto modificado que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo no incluye ningún monómero aniónico o iónico añadido intencionadamente, respectivamente. Dicho de otro modo, las expresiones “prácticamente exento de monómeros aniónicos” y “prácticamente exento de monómeros iónicos” significa que el  
55 compuesto modificado que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo puede incluir monómeros aniónicos y/o monómeros iónico presentes como una impureza.

La cantidad del compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo, si está presente en la mezcla, puede variar ampliamente. Por ejemplo, la cantidad del compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo en la mezcla pueden ser de aproximadamente 0,01 % en peso a aproximadamente 50 % en peso, basado en el peso seco de los sustratos lignocelulósicos. En otro ejemplo, la cantidad del compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo en la mezcla puede ser desde un mínimo de aproximadamente 0,05 % en peso, aproximadamente 0,1 % en peso, aproximadamente 0,5 % en peso, aproximadamente 1 % en peso, aproximadamente 2 % en peso, aproximadamente 3 % en peso, aproximadamente 5 % en peso, o de aproximadamente 7 % en peso hasta un máximo de aproximadamente 15 % en peso, aproximadamente 20 % en peso, aproximadamente 25 % en peso, o aproximadamente 30 % en peso, basado en el peso seco de los sustratos lignocelulósicos, con intervalos adecuados que incluyen la combinación de dos valores cualesquiera. En otro ejemplo, la cantidad del compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo en la mezcla puede ser desde un mínimo de aproximadamente 0,1 % en peso, aproximadamente 0,5 % en peso, aproximadamente 1 % en peso, aproximadamente 3 % en peso, o de aproximadamente 5 % en peso hasta un máximo de aproximadamente 10 % en peso, aproximadamente 13 % en peso, aproximadamente 15 % en peso, aproximadamente 17 % en peso, o de aproximadamente 20 % en peso, basado en el peso seco de los sustratos lignocelulósicos, con intervalos adecuados que incluyen la combinación de dos valores cualesquiera. En otro ejemplo, la cantidad del compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo en la mezcla puede ser de aproximadamente 1 % en peso a aproximadamente 15 % en peso, aproximadamente 5 % en peso a aproximadamente 15 % en peso, aproximadamente 8 % en peso a aproximadamente 13 % en peso, aproximadamente 7 % en peso a aproximadamente 12 % en peso, o aproximadamente 5 % en peso a aproximadamente 25 % en peso, basado en el peso seco de los sustratos lignocelulósicos.

Los sustratos lignocelulósicos pueden incluir uno o más de los materiales de plantas y vegetales tratados y descritos anteriormente con referencia a la fuente de las ligninas y los taninos. Como se utiliza en la presente descripción, el término "lignocelulosa" se refiere a un material que incluye lignina y celulosa, hemicelulosa, o una combinación de celulosa y hemicelulosas. La materia prima, a partir de la cual pueden obtenerse o pueden derivarse los sustratos lignocelulósicos, puede formarse, reducirse o conformarse de cualquier otra manera a las dimensiones adecuadas mediante diversos procesos, tales como astillado, triturado, molienda con martillos, rasgado, troceado y/o descamación. Otros procesos para fabricar los sustratos pueden incluir mecanizado, corte, rebanado, y/o aserrado. Las formas adecuadas de los sustratos lignocelulósicos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, trocitos, escamas, obleas, fibras, polvo, virutas, serrín o polvo, chapa, hebras, y/o similares. En consecuencia, el término "sustrato" cuando se utiliza junto con "lignocelulosa" se refiere a un material lignocelulósico o a un material que contiene lignocelulosa que tiene cualquier forma deseada tales como trocitos, escamas, obleas, fibras, polvo, virutas, serrín o polvo, chapa, hebras, y/o similares. Otros sustratos lignocelulósicos adecuados pueden incluir, aunque no de forma limitativa, trocitos de madera, escamas de madera, fibras de madera, obleas de madera, virutas de madera, partículas de madera, chapa de madera, cualquier combinación de los mismos o cualquier mezcla de los mismos.

La configuración particular de los sustratos puede basarse, al menos en parte, en el producto deseado. Por ejemplo, los materiales en forma de partículas tales como trocitos, fibras, virutas, serrín o polvo, o similares se pueden preferir para producir tableros de partículas, tableros de fibras, y similares. Los sustratos pueden tener una longitud desde un mínimo de aproximadamente 0,05 mm, aproximadamente 0,1 mm, aproximadamente 0,2 mm hasta un máximo de aproximadamente 1 mm, aproximadamente 5 mm, aproximadamente 10 mm, aproximadamente 20 mm, aproximadamente 30 mm, aproximadamente 40 mm, aproximadamente 50 mm, o aproximadamente 100 mm, con intervalos adecuados que incluyen la combinación de dos valores cualesquiera. En otro ejemplo, las chapas, es decir, capas o láminas de madera, pueden utilizarse para producir madera contrachapada, madera de chapa estratificada, y similares. Las chapas pueden tener un espesor desde un mínimo de aproximadamente 0,8 mm, aproximadamente 0,9 mm, aproximadamente 1 mm, aproximadamente 1,1 mm o aproximadamente 1,2 mm hasta un máximo de aproximadamente 3 mm, aproximadamente 4 mm, aproximadamente 5 mm, aproximadamente 6 mm, aproximadamente 7 mm, aproximadamente 8 mm, aproximadamente 9 mm, o aproximadamente 10 mm, con intervalos adecuados que incluyen la combinación de dos valores cualesquiera.

Los sustratos lignocelulósicos pueden incluir líquido sobre, alrededor, y/o dentro de los sustratos. Por ejemplo, los sustratos lignocelulósicos pueden tener un líquido, *p. ej.*, humedad, contenido desde un mínimo de aproximadamente 1 % en peso, aproximadamente 2 % en peso, aproximadamente 3 % en peso, aproximadamente 4 % en peso, o aproximadamente 5 % en peso hasta un máximo de aproximadamente 7 % en peso, aproximadamente 9 % en peso, aproximadamente 11 % en peso, aproximadamente 13 % en peso, aproximadamente 15 % en peso, aproximadamente 17 % en peso, aproximadamente 19 % en peso, aproximadamente 21 % en peso, aproximadamente 23 % en peso, aproximadamente 25 % en peso, aproximadamente 27 % en peso, aproximadamente 29 % en peso, aproximadamente 31 % en peso, aproximadamente 33 % en peso, aproximadamente 35 % en peso, o aproximadamente 37 % en peso basado en el peso seco de sustratos lignocelulósico, con intervalos adecuados que incluyen la combinación de dos valores cualesquiera. Por ejemplo, los sustratos lignocelulósicos pueden tener un líquido, *p. ej.*, humedad, contenido de aproximadamente 1 % en peso a aproximadamente 10 % en peso, de aproximadamente 2 % en peso a aproximadamente 4 % en peso, de aproximadamente 2 % en peso a aproximadamente 3 % en peso, de

aproximadamente 3 % en peso a aproximadamente 6 % en peso, de aproximadamente 5 % en peso a aproximadamente 10 % en peso, de aproximadamente 6 % en peso a aproximadamente 8 % en peso, o de aproximadamente 4 % en peso a aproximadamente 9 % en peso. Los sustratos lignocelulósicos pueden ser frescos, es decir, no tratados o secos, o secos y/o tratados. Por ejemplo, los sustratos lignocelulósicos y/o el material de partida del que se derivan los sustratos lignocelulósicos pueden estar al menos parcialmente secos. En otro ejemplo, la sustratos lignocelulósicos se pueden lavar y/o lixiviar con un medio acuoso tal como agua.

Si uno o más de los componentes analizados y descritos en la presente descripción incluyen dos o más compuestos diferentes, dichos dos o más compuestos diferentes pueden estar presentes en cualquier relación entre sí. Dicho de otra manera, si la mezcla incluye un primer y un segundo tipo de sustrato lignocelulósico, precursor de radicales libres y/o compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo, la cantidad del primer y el segundo componente puede estar presente en cualquier relación deseada. Por ejemplo, si el oxidante está presente en el precursor de radicales libres e incluye un primer oxidante y un segundo oxidante, la mezcla puede tener una composición oxidante que incluye el primer oxidante en una cantidad de aproximadamente 1 % en peso a aproximadamente 99 % en peso e inversamente de aproximadamente 1 % en peso a aproximadamente 99 % en peso del segundo oxidante, basado en el peso total de la composición oxidante, es decir, el peso total del primer y segundo oxidante. En otro ejemplo, la cantidad del primer oxidante puede ser desde un mínimo de aproximadamente 5 % en peso, aproximadamente 10 % en peso, aproximadamente 15 % en peso, aproximadamente 20 % en peso, aproximadamente 25 % en peso a aproximadamente 30 % en peso, aproximadamente 35 % en peso, aproximadamente 40 % en peso, o de aproximadamente 45 % en peso hasta un máximo de aproximadamente 60 % en peso, aproximadamente 65 % en peso, aproximadamente 70 % en peso, aproximadamente 75 % en peso, aproximadamente 80 % en peso, aproximadamente 85 % en peso, aproximadamente 90 % en peso, o aproximadamente 95 % en peso, basado en el peso total del primer y segundo oxidantes.

Opcionalmente, una o más sales se pueden combinar con los sustratos lignocelulósicos, el precursor de radicales libres y el compuesto opcional que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo. La cantidad de sal en la mezcla, si está presente, puede ser desde un mínimo de aproximadamente 1 % en peso, aproximadamente 2 % en peso, o de aproximadamente 3 % en peso hasta un máximo de aproximadamente 10 % en peso, aproximadamente 20 % en peso, o de aproximadamente 30 % en peso, basado en el peso seco de los sustratos lignocelulósicos, con intervalos adecuados que incluyen la combinación de dos valores cualesquiera. La una o más sales pueden combinarse con los sustratos lignocelulósicos, catalizador, y/u oxidante en cualquier orden o secuencia. Las sales ilustrativas pueden incluir, aunque no de forma limitativa, cationes de Al, Ca, K, Na, Cu, Zn, Mg, Mn, Ba y/o Li. Los aniones adecuados pueden incluir, aunque no de forma limitativa, carbonatos, cloruros, nitratos, silicatos, acetatos, formatos, sulfatos, fosfatos y/u otras formas.

Los productos compuestos ilustrativos analizados y descritos en la presente descripción pueden incluir, aunque no de forma limitativa, tablero de partículas, tablero de fibras tales como medium density fiberboard (tablero de fibras de densidad media - "MDF") y/o high density fiberboard (tablero de fibras de alta densidad - "HDF"), madera contrachapada tal como madera contrachapada dura y/o madera contrachapada blanda, oriented strand board (tablero de hebras orientadas - "OSB"), laminated veneer lumber (madera de chapa estratificada - "LVL"), laminated veneer boards (tableros de chapa estratificada - "LVB"), material para suelos de diseño, y similares.

El método para elaborar uno o más productos compuestos puede incluir un proceso de mezclado continuo o semicontinuo en el que los sustratos lignocelulósicos y los otros componentes de la mezcla, p. ej., el catalizador, el oxidante y el compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo, se pueden introducir en un mezclador en una región primera o de introducción, extremo, área u otra(s) ubicación(ones) de introducción configuradas para recibir los componentes y la mezcla puede retirarse del mezclador mediante una o más salidas de recuperación de la mezcla. El mezclador puede configurarse para contener cualquiera desde unos pocos cientos de kilogramos a varios miles de kilogramos. Por ejemplo, en un mezclador único, se puede recuperar del mezclador cualquiera desde un mínimo de aproximadamente 500 kg/h, aproximadamente 5.000 kg/h, aproximadamente 10.000 kg/h, o aproximadamente 13.000 kg/h hasta un máximo de aproximadamente 16.000 kg/h, aproximadamente 20.000 kg/h, aproximadamente 25.000 kg/h, o aproximadamente 30.000 kg/h de la mezcla. A medida que la mezcla sale del mezclador, la mezcla se puede depositar sobre una cinta transportadora y puede transportarse a uno o más secadores, sistemas humectantes, prensas, y/u otros equipos de procesamiento. Por ejemplo, en al menos una realización específica, un producto de tablero de partículas se puede fabricar mezclando una primera mezcla o "cara" y una segunda mezcla o "núcleo" en una primera y una segunda combinación, respectivamente. El primer mezclador puede producir de aproximadamente 13.600 kg/h a aproximadamente 15.900 kg/h de una mezcla de "cara" y el segundo mezclador puede producir de aproximadamente 18.100 kg/h a aproximadamente 20.400 kg/h de una mezcla de "núcleo". Las mezclas de "cara" y "núcleo" se pueden utilizar para producir un panel o lámina de tablero de partículas, donde la mezcla de "cara" constituye las capas exteriores del tablero de partículas y la mezcla de "núcleo" constituye la capa interna o central del tablero de partículas.

En referencia concretamente al tablero de partículas, el tablero de partículas elaborado según una o más realizaciones analizadas y descritas en la presente descripción puede cumplir o superar los requerimientos para tablero de partículas de calidades H-1, H-2, H-3, M-0, M-1, M-S, M-2, M-3i, LD-1, y/o LD-2 descritas en la

American National Standards Institute (ANSI) para tablero de partículas, es decir, ANSI A208.1-2009 Particleboard, aprobadas el 2 de febrero de 2009. El tablero de partículas elaborado según una o más realizaciones analizadas y descritas en la presente descripción puede cumplir o superar los requerimientos para PBU, D-2, D-3, y/o M-3 que define la ANSI para tablero de partículas, es decir, ANSI A208.1-2009 Particleboard, aprobadas el 2 de febrero de 2009. Por ejemplo, las Tablas A y B establecen ciertos requisitos para las diferentes calidades de tablero de partículas. En referencia a los oriented strand board (tableros de hebras orientadas - OSB) en particular, los OSB elaborados según una o más realizaciones analizadas y descritas en la presente descripción pueden cumplir o superar el Voluntary Performance Standard PS 2 del Departamento de comercio de los Estados Unidos. En referencia a la madera contrapachada en particular, la madera contrapachada fabricada según una o más realizaciones analizadas y descritas en la presente descripción puede alcanzar o superar el Voluntary Performance Standard PS 1 y/o PS-2 del Departamento de comercio de los Estados Unidos.

En una o más realizaciones, uno o más aditivos se pueden combinar con los sustratos lignocelulósicos, precursor de radicales libres y, opcionalmente, el compuesto que tiene al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo para producir la mezcla. Los aditivos ilustrativos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, ceras y/u otros aditivos hidrófobos, agua, material(es) de carga, extensores, tensioactivos, agentes de liberación, tintes, retardantes de llama, depuradores de formaldehído, biocidas, cualquier combinación de los mismos, o cualquier mezcla de los mismos. Para los productos de madera compuesta, tales como madera contrachapada, los materiales de carga típicos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, cáscaras de pecana y/o cáscaras de nuez molida y los extensores típicos pueden incluir, por ejemplo, harina de trigo. Otros extensores adecuados pueden incluir, aunque no de forma limitativa, polisacáridos, y similares. Los polisacáridos ilustrativos pueden incluir, aunque no de forma limitativa, almidón, celulosa, gomas, tales como guar y xantana, alginatos, pectina, gelana, cualquier combinación de los mismos o cualquier mezcla de los mismos. Los almidones polisacáridos adecuados pueden incluir, por ejemplo, maíz, maíz céreo, maíz de alta amilosa, patata, tapioca y almidón de trigo. Otros almidones, tales como almidones modificados genéticamente, pueden incluir patata de alta amilosa y almidones de amilopectina de patata.

Si uno o más aditivos está presente en la mezcla, la cantidad de cada aditivo puede estar comprendida desde un mínimo de aproximadamente 0,01 % en peso hasta un máximo de 50 % en peso, basado en el peso total de la mezcla. Por ejemplo, la cantidad de cualquier componente o aditivo determinado puede estar comprendido desde un mínimo de aproximadamente 0,01 % en peso, aproximadamente 0,05 % en peso, aproximadamente 0,1 % en peso, aproximadamente 0,5 % en peso, o aproximadamente 1 % en peso hasta un máximo de aproximadamente 3 % en peso, aproximadamente 5 % en peso, aproximadamente 7 % en peso, o aproximadamente 9 % en peso, basado en el peso total de la mezcla. En otro ejemplo, la cantidad de cualquier aditivo o componente determinado puede estar comprendido desde un mínimo de aproximadamente 1 % en peso, aproximadamente 5 % en peso, aproximadamente 10 % en peso, aproximadamente 15 % en peso, o de aproximadamente 20 % en peso hasta un máximo de aproximadamente 25 % en peso, aproximadamente 30 % en peso, aproximadamente 35 % en peso, aproximadamente 40 % en peso, o de aproximadamente 45 % en peso, basado en el peso total de la mezcla. En al menos una realización específica, una o más ceras, *p. ej.*, cera de parafina, puede estar presente en la mezcla y la cantidad de cera puede estar comprendida desde un mínimo de aproximadamente 0,1 % en peso, aproximadamente 0,5 % en peso, o aproximadamente 0,9 % en peso hasta un máximo de aproximadamente 1,5 % en peso, aproximadamente 2 % en peso, o de aproximadamente 3 % en peso, basado en el peso seco de los sustratos lignocelulósicos.

El producto compuesto puede tener una densidad desde un mínimo de aproximadamente 0,5 g/cm<sup>3</sup>, aproximadamente 0,55 g/cm<sup>3</sup>, aproximadamente 0,6 g/cm<sup>3</sup>, aproximadamente 0,63 g/cm<sup>3</sup>, aproximadamente 0,65 g/cm<sup>3</sup>, aproximadamente 0,67 g/cm<sup>3</sup>, o aproximadamente 0,7 g/cm<sup>3</sup> hasta un máximo de aproximadamente 0,75 g/cm<sup>3</sup>, aproximadamente 0,77 g/cm<sup>3</sup>, aproximadamente 0,8 g/cm<sup>3</sup>, aproximadamente 0,83 g/cm<sup>3</sup>, aproximadamente 0,85 g/cm<sup>3</sup>, aproximadamente 0,88 g/cm<sup>3</sup>, aproximadamente 0,93 g/cm<sup>3</sup>, aproximadamente 0,97 g/cm<sup>3</sup>, o aproximadamente 1 g/cm<sup>3</sup>. Por ejemplo, el producto compuesto puede tener una densidad de aproximadamente 0,7 g/cm<sup>3</sup> a aproximadamente 0,75 g/cm<sup>3</sup>, de aproximadamente 0,65 g/cm<sup>3</sup> a aproximadamente 0,85 g/cm<sup>3</sup>, de aproximadamente 0,65 g/cm<sup>3</sup> a aproximadamente 0,8 g/cm<sup>3</sup>, de aproximadamente 0,67 g/cm<sup>3</sup> a aproximadamente 0,77 g/cm<sup>3</sup>, de aproximadamente 0,5 g/cm<sup>3</sup>, a aproximadamente 1 g/cm<sup>3</sup>, de aproximadamente 0,5 g/cm<sup>3</sup>, a aproximadamente 0,8 g/cm<sup>3</sup>, de aproximadamente 0,5 g/cm<sup>3</sup> a aproximadamente 0,75 g/cm<sup>3</sup>, o de aproximadamente 0,64 g/cm<sup>3</sup> a aproximadamente 0,8 g/cm<sup>3</sup>. En una o más realizaciones, el producto compuesto puede tener una densidad de menos de 1 g/cm<sup>3</sup>, de menos de 0,95 g/cm<sup>3</sup>, de menos de 0,88 g/cm<sup>3</sup>, de menos de 0,85 g/cm<sup>3</sup>, de menos de 0,83 g/cm<sup>3</sup>, de menos de 0,8 g/cm<sup>3</sup>, de menos de 0,79 g/cm<sup>3</sup>, de menos de 0,78 g/cm<sup>3</sup>, de menos de 0,77 g/cm<sup>3</sup>, de menos de 0,76 g/cm<sup>3</sup>, de menos de 0,75 g/cm<sup>3</sup>, de menos de 0,74 g/cm<sup>3</sup>, o de menos de 0,73 g/cm<sup>3</sup>.

El producto compuesto puede tener una resistencia del enlace interno desde un mínimo de aproximadamente 0,3 MPa, aproximadamente 0,32 MPa, aproximadamente 0,34 MPa, aproximadamente 0,35 MPa, aproximadamente 0,37 MPa, aproximadamente 0,4 MPa, aproximadamente 0,42 MPa, aproximadamente 0,48 MPa, aproximadamente 0,52 MPa, aproximadamente 0,55 MPa, o aproximadamente 0,58 MPa hasta un máximo de aproximadamente 0,69 MPa, aproximadamente 0,75 MPa, aproximadamente 0,83 MPa, aproximadamente 0,9 MPa, aproximadamente 0,97 MPa, aproximadamente 1,05 MPa, aproximadamente 1,15 MPa, aproximadamente 1,2 MPa, aproximadamente 1,25 MPa, aproximadamente 1,3 MPa, aproximadamente 1,35 MPa, aproximadamente 1,4 MPa, aproximadamente 1,45 MPa, aproximadamente 1,5 MPa, aproximadamente 1,55 MPa, aproximadamente 1,6 MPa, o aproximadamente 1,7 MPa, con intervalos adecuados que incluyen la combinación de dos valores cualesquiera. Por ejemplo, el producto

compuesto puede tener una resistencia del enlace interno de aproximadamente 0,35 MPa a aproximadamente 0,55 MPa, aproximadamente 0,4 MPa a aproximadamente 0,6 MPa, aproximadamente 0,48 MPa a aproximadamente 0,69 MPa, aproximadamente 0,59 MPa a aproximadamente 0,86 MPa, aproximadamente 0,55 MPa a aproximadamente 0,9 MPa, o aproximadamente 0,51 MPa a aproximadamente 0,85 MPa. En una o más realizaciones, el producto compuesto puede tener una resistencia del enlace interno de al menos 0,33 MPa, al menos 0,32 MPa, al menos 0,34 MPa, al menos 0,38 MPa, al menos 0,41 MPa, al menos 0,45 MPa, al menos 0,48 MPa, al menos 0,51 MPa, al menos 0,55 MPa, al menos 0,58 MPa, al menos 0,62 MPa, al menos 0,66 MPa, al menos 0,69 MPa, al menos 0,72 MPa, al menos 0,76 MPa, o al menos 0,79 MPa. La resistencia del enlace interno para cada ejemplo puede determinarse según el procedimiento de ensayo proporcionado en la norma ASTM D1037-06a.

En una o más realizaciones, el producto compuesto puede tener una densidad de menos de 1 g/cm<sup>3</sup>, de menos de 0,95 g/cm<sup>3</sup>, de menos de 0,9 g/cm<sup>3</sup>, de menos de 0,85 g/cm<sup>3</sup>, de menos de 0,8 g/cm<sup>3</sup>, de menos de 0,79 g/cm<sup>3</sup>, de menos de 0,78 g/cm<sup>3</sup>, de menos de 0,77 g/cm<sup>3</sup>, de menos de 0,76 g/cm<sup>3</sup>, de menos de 0,75 g/cm<sup>3</sup>, de menos de 0,74 g/cm<sup>3</sup>, o de menos de 0,73 g/cm<sup>3</sup> y una resistencia del enlace interno de al menos 0,3 MPa, al menos 0,35 MPa, al menos 0,4 MPa, al menos 0,48 MPa, al menos 0,51 MPa, al menos 0,55 MPa, al menos 0,58 MPa, al menos 0,62 MPa, al menos 0,65 MPa, o al menos 0,69 MPa. En al menos un ejemplo específico, el producto compuesto puede tener una densidad inferior a 0,8 g/cm<sup>3</sup> y resistencia del enlace interno de al menos 0,48 MPa. En al menos otro ejemplo específico, el producto compuesto puede tener una densidad inferior a 0,8 g/cm<sup>3</sup> y resistencia del enlace interno de al menos 0,69 MPa. En al menos otro ejemplo específico, el producto compuesto puede tener una densidad inferior a 0,73 g/cm<sup>3</sup> y resistencia del enlace interno de al menos 0,48 MPa. En otro ejemplo más, el producto compuesto puede tener una densidad inferior a 0,73 g/cm<sup>3</sup> y resistencia del enlace interno de al menos 0,58 MPa.

Los productos compuestos tales como tablero de partículas, tablero de fibras, madera contrapachada, y tablero de fibras orientadas, pueden tener un espesor o espesor medio desde un mínimo de aproximadamente 1,5 mm, aproximadamente 5 mm, aproximadamente 10 mm hasta un máximo de aproximadamente 15 mm, aproximadamente 20 mm, aproximadamente 25 mm, aproximadamente 30 mm, aproximadamente 50 mm, aproximadamente 100 mm, aproximadamente 200 mm, o aproximadamente 300 mm, con intervalos adecuados que incluyen la combinación de dos valores cualesquiera. Los productos compuestos tales como tablero de partículas, tablero de fibras, madera contrapachada, y tablero de fibras orientadas, pueden tener una longitud de aproximadamente 0,1 m, aproximadamente 0,5 m, aproximadamente 1 m, aproximadamente 1,2 m, aproximadamente 1,8 m, aproximadamente 2,4 m, aproximadamente 3 m, o aproximadamente 3,6 m. Los productos compuestos también puede tener una anchura de aproximadamente 0,1 m, aproximadamente 0,5 m, aproximadamente 1 m, aproximadamente 1,2 m, aproximadamente 1,8 m, aproximadamente 2,4 m, o de aproximadamente 3.

Las mezclas analizadas y descritas en la presente descripción pueden estar exentas o prácticamente exentas de formaldehído para usar en la producción de productos compuestos, *p. ej.*, productos de madera tales como tablero de partículas y madera contrapachada. Como se utiliza en la presente descripción, la expresión “prácticamente exenta de formaldehído” significa que la mezcla no incluye ni contiene formaldehído añadido intencionadamente ni compuestos que pueden descomponerse, reaccionar, o formar de cualquier otra manera formaldehído. Dicho de otra forma, la expresión “prácticamente exenta de formaldehído” significa que la mezcla no contiene formaldehído o compuestos que puedan formar formaldehído, pero puede incluir formaldehído presente como impureza. En consecuencia, dependiendo del uno o varios aldehído(s) multifuncionales utilizados para producir las mezclas analizadas y descritas en la presente descripción, la mezcla se puede denominar como “sin formaldehído añadido” o mezcla “NAF”.

Los productos compuestos analizados y descritos en la presente descripción pueden mostrar un bajo nivel de emisión de formaldehído. Un ensayo adecuado para determinar la emisión de formaldehído de un producto compuesto puede incluir la norma ASTM D6007-02 y ASTM E1333-10. Por ejemplo, los productos compuestos pueden presentar una emisión de formaldehído de cero. En otro ejemplo, los productos compuestos pueden presentar una emisión de formaldehído de menos de aproximadamente 1 parte por millón (“ppm”), menos de aproximadamente 0,9 ppm, menos de aproximadamente 0,08 ppm, menos de aproximadamente 0,07 ppm, menos de aproximadamente 0,06 ppm, menos de aproximadamente 0,05 ppm, menos de aproximadamente 0,04 ppm, menos de aproximadamente 0,03 ppm, menos de aproximadamente 0,02 ppm, menos de aproximadamente 0,01 ppm, o menos de aproximadamente 0,005 ppm.

El producto compuesto puede cumplir o superar las normas de emisión de formaldehído requeridos en la California Air Resources Board (“CARB”) Fase 1 (menos de 0,1 partes por millón “ppm” de formaldehído en un tablero de partículas), y la Fase 2 (menos de 0,09 ppm de formaldehído para tablero de partículas). Los productos compuestos analizados y descritos en la presente descripción también pueden cumplir o superar las normas de emisión de formaldehído requeridas por la norma japonesa JIS/JAS F\*\*\* (no superar 0,5 mg/l de formaldehído en un tablero de partículas), norma japonesa JIS/JAS F\*\*\*\* (no superar 0,3 mg/l de formaldehído en un tablero de partículas), las normas europeas E1, y E2.

## Ejemplos

Para proporcionar una mejor comprensión de la descripción anterior, se ofrecen los siguientes ejemplos no limitativos. Aunque los ejemplos pueden estar dirigidos a realizaciones específicas, no deben considerarse como limitantes de la invención en ningún sentido específico. Todas las partes, proporciones y porcentajes son en peso, salvo que se indique lo contrario.

Ejemplo I

Se usó una serie de catalizadores para producir paneles de tablero de partículas, especialmente, los ejemplos comparativos C1 y C2 y los ejemplos inventivos 1-7. En todos los ejemplos, 2.100 gramos de partículas de madera de calidad para la cara (pino amarillo meridional) se introdujeron en un mezclador de 0,0283 m<sup>3</sup>. Las partículas de madera tenían un contenido de humedad de 5 % en peso a 7 % en peso. Se añadió a la pasta de madera lignosulfonato de amonio tanto en forma líquida como en polvo, un catalizador que contenía hierro, y una solución de peróxido de hidrógeno al 50 % en peso.

Los componentes adicionales de la mezcla se pulverizaron sobre las partículas de madera en el siguiente orden y cantidades: (1) 7 % en peso de lignosulfonato de amonio (46 % en peso de una mezcla acuosa de 49 % en peso) mezclada con un catalizador a 0,1 % en peso (que era diferente en cada ejemplo); (2) 5 % en peso de peróxido de hidrógeno, y (3) 3 % en peso de lignosulfonato de amonio en polvo, donde la cantidad de cada componente se basa en el peso seco de la partículas de madera. Los catalizadores utilizados en los ejemplos comparativos C1 y C2 fueron FeSO<sub>4</sub>×7H<sub>2</sub>O, y NH<sub>4</sub>Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>×12H<sub>2</sub>O, respectivamente. El catalizador utilizado en los ejemplos inventivos 1-7 fueron ferricianuro de potasio (K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]), ácido etilendiaminotetraacético de hierro (Fe EDTA), ácido etilendiaminotetraacético de hierro (Fe EDTA), ácido (S,S)-etilendiamina-N,N'-disuccínico de hierro (Fe EDDS), ácido dietilentriamina pentaacético de hierro (Fe DTP A), ácido etilenglicol bis(2-aminoetiléter)-N,N',N'-tetraacético de hierro (Fe EGTA), y ácido *trans*-1,2-diaminociclohexanetetraacético de hierro (Fe CDTA), respectivamente. El lignosulfonato de amonio acuoso fue ARBO®A02L proporcionado por Tembec. El lignosulfonato de amonio en polvo fue ARBO®A02P proporcionado por Tembec.

El FeSO<sub>4</sub>×7H<sub>2</sub>O y el NH<sub>4</sub>Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>×12H<sub>2</sub>O se adquirieron de Sigma-Aldrich y cada uno tenía una pureza ≥99,0 %. El (K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]) se adquirió de J. T. Baker Chemical Co. y tenía una pureza de 99,5 %. El Fe EDTA se adquirió de Acros Organic y tenía una pureza de 98 %. El FeCl<sub>3</sub> se adquirió de Sigma-Aldrich y tenía una pureza de 97 %. El EDDS se adquirió de Sigma-Aldrich como una solución acuosa de sal trisódica a 35 %. El DTPA se adquirió de Sigma-Aldrich y tenía una pureza de 98 %. El EGTA se adquirió de Sigma-Aldrich como sal tetrasódica y tenía una pureza ≥97,0 %. El CDTA monohidrato se adquirió de Fluka y tenía una pureza ≥98,5 %. Los quelatos de hierro se prepararon mezclando 1,0 equiv. de solución acuosa de FeCl<sub>3</sub> con 1,05 equiv. de solución acuosa de la sal sódica del quelato correspondiente a temperatura ambiente. Las sales sódicas de los quelatos DTPA y CDTA se elaboraron mediante la adición de hidróxido de sodio al quelato correspondiente. En los experimentos se usaron soluciones de quelato de hierro recién preparadas.

La mezcla o "pulpa resinada" tenía un contenido total de humedad de 17 % en peso a 18 % en peso y se combinó durante 2 minutos más después de añadir el lignosulfonato de amonio en polvo. La pulpa resinada se introdujo en un recipiente abierto de 33 cm × 45,7 cm × 20,3 cm durante 30 minutos, en ese tiempo, la temperatura de la pulpa resinada se midió. En cada ejemplo, la temperatura inicial o de partida de la pulpa resinada varió debido a uno o más factores, que incluyen la temperatura inicial de las partículas de madera, que varía dependiendo del tiempo de enfriado de las partículas de madera después del secado, la temperatura ambiente el día en cuestión de los experimentos que se realizaron desde enero hasta julio y, como puede verse en la Tabla 1, para los ejemplos comparativos C1 y C2, los componentes de la pulpa fueron muy reactivos entre sí, en comparación con los Ej. 1 - 7 y el calor generado durante o poco después de la formación de la mezcla contribuyó a las diferencias en las temperaturas de partida iniciales. La temperatura de cada pulpa resinada durante los 30 minutos se muestra en la Tabla 1 siguiente.

	C1, FeSO <sub>4</sub> x 7H <sub>2</sub> O	C2, NH <sub>4</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> x 12H <sub>2</sub> O	Ej. 1, K <sub>3</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	Ej. 2, Fe EDTA	Ej. 3, Fe EDTA	Ej. 4, Fe EDDS	Ej. 5, Fe DTPA	Ej. 6, Fe EGTA	Ej. 7, Fe CDTA
Tiempo, min.	Temp, °C	Temp, °C	Temp, °C	Temp, °C	Temp, °C	Temp, °C	Temp, °C	Temp, °C	Temp, °C
2	34,4	--	26,8	25,1	26,6	--	--	36,4	29,1
3	--	34,3	--	--	--	33,6	34,0	--	--
4	36,3	--	27,7	25,7	26,8	--	--	37,6	29,2
6	--	36,7	29,7	26,4	--	34,0	34,1	38,4	29,4
8	--	--	29,7	--	27,0	34,2	34,2	--	--
9	--	--	--	--	--	--	--	--	29,6
10	--	--	--	26,4	27,1	34,5	--	40,4	--
11	--	--	--	--	--	--	--	--	29,8
12	41,4	44,0	--	26,5	--	--	--	41,5	--
13	--	--	--	--	--	34,7	--	--	30,0
14	--	--	28,7	26,6	--	--	34,7	42,8	--
15	--	--	--	--	27,3	--	--	--	30,2

16	--	--	29,1	26,8		--	--	--	--
18	47,9	64,0	--	26,9	27,4	--	34,9	--	--
19	--	--	--	26,9		35,2	--	--	30,4
20	--	--	29,4	26,9	27,5	--	35,0	47,7	--
21	--	90,6	--	--		--	--	--	--
22	56,8	104,0	--	--		--	35,1	--	--
23	--	--	--	--		--	--	--	30,6
24	65,7	104,0	29,7	--		35,4	35,1	--	--
25	--	104,0	--	--		--	--	51,5	--
26	83,8	--	--	--		35,5	35,0	--	--
27	98,2	102,0	--	--		--	--	--	--
28	105,1	--	30,0	--	27,9	35,5	--	54,8	--
30	106,8	98,4	30,1	--	28,0	35,6	35,0	57,4	30,8

Como se muestra en la Tabla 1, la pulpa resinada de todos los ejemplos comparativos C1 y C2 rebasó la temperatura de 40 °C en menos de 30 minutos. De hecho, todos los ejemplos comparativos C1 y C2 superaron los 100 °C. En contraste directo, ninguno de los ejemplos de la invención, los Ej. 1 - 7 superaron una temperatura de 60 °C durante los 30 minutos de duración.

Después de 30 minutos en el recipiente abierto de 33 cm × 45,7 cm × 20,3 cm, la pulpa resinada se conformó en un lecho de 40,64 cm × 40,64 cm × 5,08 cm y se presionó un panel de tablero de partículas hasta los topes configurado para producir un panel que tiene un espesor de 1,59 cm +/- 0,3 cm durante 4 minutos a 165,5 °C +/- 5,5 °C (tiempo total en prensa de 240 segundos consistente en 30 segundos de tiempo de cierre, 180 segundos de tiempo de prensado, y 30 segundos de tiempo de desgasificación). Las muestras de tablero de partículas se enfriaron después a temperatura ambiente y la resistencia del internal bond (enlace interno - IB) se midió según la norma ASTM D1037-06a. Cada panel de tablero de partículas tuvo un espesor de 1,59 cm +/- 0,3 cm. La densidad y la resistencia del enlace interno del tablero de partículas se muestran en la Tabla 2 siguiente.

Ejemplo	Catalizador	Densidad, g/cm <sup>3</sup>	IB, MPA
C1	FeSO <sub>4</sub> x 7H <sub>2</sub> O	0,774	0,49
C2	NH <sub>4</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> x 12H <sub>2</sub> O	0,770	0,185
Ej. 1	K <sub>3</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	0,803	0,772
Ej. 2	Fe EDTA	0,745	0,591
Ej. 3	Fe EDTA	0,748	0,607
Ej. 4	Fe EDDS	0,742	0,458
Ej. 5	Fe DTPA	0,769	0,403
Ej. 6	Fe EGTA	0,798	0,556
Ej. 7	Fe CDTA	0,775	0,383

Como se muestra en la Tabla 2, todos los ejemplos de la invención, los Ej. 1 - 7 tuvieron una resistencia del enlace interno de 0,383 MPa o más. El Ejemplo comparativo C2 tuvo una resistencia IB significativamente menor de 0,185 MPa. El Ejemplo comparativo C1 tuvo una resistencia IB comparable de 0,490 MPa, pero la pulpa resinada superó los 100 °C en 30 minutos. Cuando la pulpa resinada supera los 100 °C, se puede generar una cantidad sustancial de calor y vapor, lo que además de no ser deseable desde el punto de vista de la fabricación, también supone un riesgo de seguridad para las personas que participan en la fabricación de los productos compuestos. Los paneles de tablero de partículas que tienen un IB de aproximadamente 0,350 MPa o más son útiles en numerosas aplicaciones, que incluyen, aunque no de forma limitativa, muebles, armarios, material para suelos, y unidades de pared.

#### Ejemplo II

En el Ejemplo II se prepararon cuatro ejemplos, especialmente, un Control y los ejemplos de la invención, los Ej. 8 - 10 y se determinó la cantidad de oxidante (peróxido de hidrógeno) que quedaba presente en cada ejemplo después de 30 minutos. Partículas de madera de calidad para cara (de pino amarillo meridional) en la cantidad de 2.100 g se introdujeron en un mezclador de 0,0283 m<sup>3</sup>. Las partículas de madera tenían un contenido de humedad de 5 % en peso a 7 % en peso. El ejemplo de Control incluía solo peróxido de hidrógeno, *es decir*, ningún catalizador, partículas de madera o lignosulfonato de amonio. Para el Ejemplo 8, se añadieron los siguientes componentes a las partículas de madera en forma de una nebulización fina mientras se combina para fabricar la pulpa resinada: a) 7 % en peso de lignosulfonato de amonio (46 % en peso a una mezcla acuosa del 49 %), b) 5 % en peso de peróxido de hidrógeno (50 % ac.), y c) 3 % en peso de lignosulfonato de amonio en polvo, donde la cantidad de cada componente se basa en el peso seco de las partículas de madera. Para los

Ejemplos 9 y 10, los siguientes componentes se añadieron a las partículas de madera mientras se combina para producir la pulpa resinada: a) 7 % en peso de lignosulfonato de amonio (mezcla acuosa de 46 % en peso a 49 % en peso) se mezcla con 0,275 % en peso de FeEDTA (Ej. 9) y 0,22 % en peso de  $K_3[Fe(CN)_6]$  (Ej. 10), respectivamente, b) 5 % en peso de peróxido de hidrógeno (50 % ac.), y c) 3 % en peso de lignosulfonato de amonio en polvo, donde la cantidad de cada componente se basa en el peso seco de las partículas de madera.

Las pulpas resinadas de los Ejemplos 8 - 10 (contenido de humedad 17-18 %) se mezclaron durante 2 minutos más y se introdujeron en un recipiente abierto de 33 cm × 45,7 cm × 20 cm durante 30 min, tiempo durante el cual se midió la temperatura de la pulpa resinada. Una muestra representativa de cada pasta de madera resinada en la cantidad de 20 g se transfirió al recipiente de plástico y se añadieron 200 g de agua desionizada. Para la muestra de control, 0,95 g de  $H_2O_2$  se transfirieron a un recipiente de plástico y 400 g de agua desionizada se añadieron al anterior. El contenido de  $H_2O_2$  se analizó a continuación con trifenilfosfina, como se explica adicionalmente a continuación. Para los Ejemplos 8 - 10, las mezclas se agitaron manualmente durante 5 min y se vertieron en un embudo provisto de papel de filtro. Para los Ejemplos 8 y 10, los filtrados se recogieron y la pasta de madera se aclaró dos veces más con 800 g más de agua desionizada (2 enjuagues separados de 400 g cada uno). Para el Ejemplo 9, el filtrado se recogió y la pasta de madera se enjuagó una vez más con 400 g de agua desionizada.

Para los Ejemplos 8-10, los filtrados enjuagados se diluyeron añadiendo 1 ml del filtrado a un matraz aforado de 100 ml y el resto del matraz se llenó con agua. A continuación se preparó una solución de trifenilfosfina 2,0 mM en acetonitrilo. 1 ml de cada solución se mezcló en un recipiente de plástico y se almacenó en la oscuridad durante 30 minutos, tiempo durante el cual la trifenilfosfina se oxidó a óxido de trifenilfosfina. La concentración de óxido de trifenilfosfina se midió mediante HPLC. La trifenilfosfina y el óxido de trifenilfosfina (utilizado para la curva de calibración) se adquirieron de Aldrich y tenía una pureza de 99 % y 98 %, respectivamente. El procedimiento analítico que usa la trifenilfosfina en acetonitrilo para determinar el contenido de peróxido de hidrógeno se realizó según el procedimiento descrito y descrito en Pinkernell, U.; Effkemann, S.; Karst, U., *Anal. Chem.* **1997**, 69, 3623-3627.

Los resultados se muestran en la Tabla 3 siguiente.

Tabla 3		
	Componentes	% $H_2O_2$ retenido
Control	$H_2O_2$	98
Ej. 8	ALS+ $H_2O_2$	81
Ej. 9	ALS+ FeEDTA+ $H_2O_2$	63
Ej. 10	ALS+ $K_3[Fe(CN)_6]$ + $H_2O_2$	83

Como se muestra en la Tabla 3, el ejemplo de control solo ha perdido 2 % de peróxido de hidrógeno, lo que se debería a un error experimental y/o la descomposición del peróxido de hidrógeno causada por la luz durante la etapa de monitorización de 30 minutos. Los ejemplos 8 - 10 de la invención tuvieron, cada uno de ellos, una concentración de peróxido de hidrógeno de 81 %, 63 %, y 83 %, respectivamente, que quedaba presente después de la etapa de monitorización de 30 minutos. Sin pretender imponer ninguna teoría, se cree que el Ej. 9 mostró una mayor reducción en el contenido de  $H_2O_2$  debido a enjuagar la mezcla solo una vez, lo que muy probablemente era insuficiente para recuperar el  $H_2O_2$  adicional. También, sin pretender imponer ninguna teoría, se cree que el  $H_2O_2$  no recuperado se pudo deber a la descomposición del peróxido de hidrógeno, puede existir un equilibrio entre el  $H_2O_2$  y la pasta, y/o el  $H_2O_2$  puede reaccionar con algunos componentes de la madera que se pueden oxidar solamente por  $H_2O_2$ .

También se describe en la presente memoria:

1. Un método para elaborar un producto compuesto, que comprende: combinar una pluralidad de sustratos lignocelulósicos y uno o más precursores de radicales libres para producir una mezcla; manteniendo la mezcla a una temperatura inferior a 60 °C durante al menos 10 minutos; y calentar la mezcla a una temperatura de al menos 60 °C a aproximadamente 300 °C para producir un producto compuesto que tiene una densidad de menos de 1 g/cm<sup>3</sup> y una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa, en donde al menos 1 % en peso del uno o más precursores de radicales libres está presente cuando la mezcla se calienta a al menos 60 °C, basado en el peso seco de la pluralidad de sustratos lignocelulósicos.

2. Un método para elaborar un producto compuesto, que comprende: combinar una pluralidad de sustratos lignocelulósicos y uno o más precursores de radicales libres para producir una mezcla; manteniendo la mezcla a una temperatura inferior a 60 °C durante al menos 10 minutos; y calentar la mezcla a una temperatura de al menos 60 °C a aproximadamente 300 °C para producir un producto compuesto que tiene una densidad de menos de 1 g/cm<sup>3</sup> y una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa, en donde al menos 11 % en peso del uno o más precursores de radicales libres está presente cuando la mezcla se calienta a al menos 60 °C.

3. Un método para elaborar un producto compuesto que comprende: combinar una pluralidad de sustratos lignocelulósicos, uno o más precursores de radicales libres y uno o más compuestos seleccionados del grupo que

consiste en: ligninas, taninos, resinas novolac, resina de fenol-formaldehído modificada, bis-fenol A, ácidos húmicos y cualquier mezcla de los mismos para producir una mezcla; y calentar la mezcla a una temperatura de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 300 °C para producir un producto compuesto, en el que al menos 11 % en peso del uno o más precursores de radicales libres está presente cuando la mezcla se calienta a al menos 60 °C.

5 4. El método según el párrafo 3, en donde el producto compuesto tiene una densidad de menos de 1 g/cm<sup>3</sup> y una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa.

10 5. El método según el párrafo 4, en donde una cantidad del uno o más precursores de radicales libres presente cuando la mezcla se calienta de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 300 °C es al menos 1 % en peso, basado en el peso seco de la pluralidad de sustratos lignocelulósicos.

15 6. Un método para elaborar un producto compuesto que comprende: combinar una pluralidad de sustratos lignocelulósicos, uno o más precursores de radicales libres, y uno o más compuestos que comprenden al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden extraer en presencia de radicales hidroxilo para producir una mezcla; y calentar la mezcla a una temperatura de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 300 °C para producir un producto compuesto, en donde al menos 11 % en peso del uno o más precursores de radicales libres está presente cuando la mezcla se calienta de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 300 °C.

20 7. El método según el párrafo 6, en donde el producto compuesto tiene una densidad de menos de 1 g/cm<sup>3</sup> y una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa.

25 8. El método según el párrafo 6, en donde una cantidad del uno o más precursores de radicales libres presente cuando la mezcla se calienta a aproximadamente 60 °C es al menos 1 % en peso, basado en el peso seco de la pluralidad de sustratos lignocelulósicos.

30 9. Un método para preparar un producto compuesto, que comprende: combinar una pluralidad de sustratos lignocelulósicos, uno o más oxidantes, y uno o más catalizadores para producir una mezcla, en donde el uno o más catalizadores comprende una pluralidad de átomos de metal de transición cada uno unido a un agente formador de complejos correspondiente; y calentar la mezcla a una temperatura de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 300 °C para producir un producto compuesto que tiene una densidad de menos de 1 g/cm<sup>3</sup> y una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa, en donde al menos 1 % en peso del uno o más catalizadores que comprenden la pluralidad de átomos de metal de transición unido cada uno de ellos al correspondiente agente de complejación está presente cuando la mezcla se calienta de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 300 °C, basado en el peso seco de la pluralidad de sustratos lignocelulósicos.

35 10. El método según uno cualquiera de los párrafos 1 a 8, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprende una mezcla de uno o más oxidantes y uno o más catalizadores.

40 11. El método según uno cualquiera de los párrafos 1 a 8 o 10, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprende una mezcla de peróxido de hidrógeno y uno o más catalizadores que contienen hierro.

45 12. El método según uno cualquiera de los párrafos 1 a 8, 10, u 11, en donde el uno o más precursores de radicales libres genera radicales cuando se calienta a una temperatura de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 300 °C.

50 13. El método según uno cualquiera de los párrafos 1 a 5 o 9, que comprende, además, combinar uno o más compuestos que comprenden al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo.

55 14. El método según el párrafo 13, en donde el uno o más compuestos que comprenden al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo comprende lignina, taninos, novolac, bis-fenol A, resina de fenol-formaldehído modificada, ácidos húmicos o cualquier mezcla de los mismos.

60 15. El método según el párrafo 14, en donde la lignina está presente y comprende lignosulfonato de amonio, lignosulfonato sódico, o una mezcla de los mismos.

65 16. El método según uno cualquiera de los párrafos 1 a 15, que comprende, además, la compresión de la mezcla a una presión superior a la presión atmosférica cuando la mezcla se calienta.

70 17. El método según uno cualquiera de los párrafos 1 a 16, que comprende, además, comprimir la mezcla a una presión de aproximadamente 0,1 MPa a aproximadamente 10 MPa cuando la mezcla se calienta.

75 18. El método según uno cualquiera de los párrafos 1 a 17, en donde el producto compuesto está en forma de un panel que tiene un espesor promedio, y en donde la mezcla se calienta de aproximadamente 3 segundos a aproximadamente 20 segundos por milímetro de espesor promedio.

19. El método según uno cualquiera de los párrafos 1 a 18, en donde el producto compuesto está en forma de un panel que tiene un espesor promedio, y en donde la mezcla se calienta de aproximadamente 10 segundos a aproximadamente 18 segundos por milímetro de espesor promedio.
- 5 20. El método según el párrafo 1 o 2, en donde la mezcla se mantiene a la temperatura de menos de 60 °C durante al menos 15 minutos.
21. El método según el párrafo 1 o 2, en donde la mezcla se mantiene a la temperatura de menos de 60 °C durante al menos 20 minutos.
- 10 22. El método según el párrafo 1 o 2, en donde la mezcla se mantiene a la temperatura de menos de 60 °C durante al menos 25 minutos.
23. El método según el párrafo 1 o 2, en donde la mezcla se mantiene a la temperatura de menos de 60 °C durante al menos 30 minutos.
- 15 24. El método según uno cualquiera de los párrafos 1 a 23, en donde el producto compuesto tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,4 MPa.
- 20 25. El método según uno cualquiera de los párrafos 1 a 24, en donde el producto compuesto tiene una densidad de aproximadamente 0,5 g/cm<sup>3</sup> a menos de 1 g/cm<sup>3</sup>.
26. El método según uno cualquiera de los párrafos 1 a 25, en donde el producto compuesto tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,5 MPa y una densidad de menos de 0,9 g/cm<sup>3</sup>.
- 25 27. El método según uno cualquiera de los párrafos 1 a 26, en donde el producto compuesto tiene una densidad de aproximadamente 0,5 g/cm<sup>3</sup> a aproximadamente 0,85 g/cm<sup>3</sup>.
28. El método según uno cualquiera de los párrafos 1 a 27, en donde el producto compuesto tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,5 MPa y una densidad de menos de 0,8 g/cm<sup>3</sup>.
- 30 29. El método según uno cualquiera de los párrafos 1 a 8, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprende uno o más catalizadores, y en donde el uno o más catalizadores comprende uno o más metales en forma de un complejo unido a uno o más agentes formadores de complejos.
- 35 30. El método según el párrafo 29, en donde el uno o más catalizadores comprende uno o más metales.
31. El método según el párrafo 30, en donde el uno o más agentes formadores de complejos comprende cianuro (CN<sup>-</sup>), sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), ácido etilendiamina-*N,N'*-disuccínico (EDDS), ácido etilenglicol bis(2-aminoetil éter)-*N,N,N',N'*-tetraacético (EGTA), ácido dietilentriaminopentaacético (DTPA), ácido *trans*-1,2-diaminociclohexano tetraacético (CDTA), iminodisuccinato (IDS), ácido nitrilotracético (NTA), o cualquier mezcla de los mismos.
- 40 32. El método según el párrafo 30 o 31, en donde el uno o más metales comprende hierro, cobre, manganeso, tungsteno, molibdeno, cobalto, titanio, o cualquier mezcla de los mismos.
- 45 33. El método según uno cualquiera de los párrafos 9 o 30 a 32, en donde el uno o más catalizadores comprende uno o más iones de metal de hierro, cobre, manganeso, tungsteno, molibdeno, cobalto, titanio, o cualquier combinación de los mismos; una o más aminas terciarias; aminas terciarias poliméricas; poliaminas, o una combinación de las mismas.
- 50 34. El método según el párrafo 9, en donde el uno o más catalizadores se selecciona del grupo que consiste en: ferricianuro de potasio, ácido etilendiaminotetraacético de hierro, ácido (*S,S*)-etilendiamina-*N,N'*-disuccínico de hierro, ácido dietilentriamina pentaacético de hierro, ácido etilenglicol bis(2-aminoetiléter)-*N,N,N',N'*-tetraacético de hierro, ácido *trans*-1,2-diaminociclohexanetetraacético de hierro, y cualquier mezcla de los mismos.
- 55 35. El método según el párrafo 9 o 30, en donde una cantidad del uno o más catalizadores presentes en la mezcla es de aproximadamente 0,05 % en peso a aproximadamente 5 % en peso, basado en el peso seco de la pluralidad de sustratos lignocelulósicos.
- 60 36. El método según el párrafo 9, que comprende, además, la combinación de uno o más compuestos polifenólicos con la pluralidad de sustratos lignocelulósicos, el uno o más antioxidantes, y el uno o más catalizadores para producir la mezcla.
- 65 37. El método según el párrafo 36, en donde el uno o más compuestos polifenólicos se selecciona del grupo que consiste en: lignina, taninos, resina novolac, resina de fenol-formaldehído modificada, ácidos húmicos o cualquier combinación de los mismos.

38. El método según el párrafo 37, en donde la lignina está presente y comprende lignosulfonato de amonio.
39. El método según uno cualquiera de los párrafos 36 a 38, en donde el uno o más compuestos polifenólicos está presente en la mezcla en una cantidad de aproximadamente 1 % en peso a aproximadamente 30 % en peso, basado en el peso seco de la pluralidad de sustratos lignocelulósicos.
40. El método según uno cualquiera de los párrafos 36 a 39, en donde el compuesto polifenólico se ha modificado con uno o más compuestos que tienen dobles enlaces carbono-carbono y uno o más grupos funcionales.
41. El método según el párrafo 40, en donde el uno o más compuestos que tienen dobles enlaces carbono-carbono y uno o más grupos funcionales se seleccionan del grupo que consiste en: un éter glicídilo insaturado, un éster glicídílico insaturado, un monoepóxido insaturado, un compuesto de metilol insaturado, anhídrido maleico, o cualquier mezcla de los mismos.
42. El método según el párrafo 40 o 41, en donde el compuesto polifenólico modificado con el uno o más compuestos que tienen dobles enlaces carbono-carbono y uno o más grupos funcionales está presente en una cantidad de aproximadamente 2 % en peso a aproximadamente 30 % en peso, basado en el peso seco de la pluralidad de sustratos lignocelulósicos.
43. El método según uno cualquiera de los párrafos 1 a 8 o 10 a 42, en donde el uno o más precursores de radicales libres está presente en la mezcla en una cantidad de aproximadamente 1 % en peso a aproximadamente 15 % en peso, basado en el peso seco de la pluralidad de sustratos lignocelulósicos.
44. El método según el párrafo 43, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprende peróxido de hidrógeno.
45. El método según el párrafo 9, en donde el uno o más antioxidantes comprende uno o más peroxicompuestos inorgánicos, uno o más peroxicompuestos orgánicos, o una combinación de los mismos.
46. El método según el párrafo 9, en donde el uno o más antioxidantes comprende peróxido de hidrógeno.
47. El método según el párrafo 9, en donde una cantidad del uno o más de los oxidantes presentes en la mezcla es de aproximadamente 1 % en peso a aproximadamente 15 % en peso, basado en el peso seco de la pluralidad de sustratos lignocelulósicos, y en donde una cantidad del uno o más catalizadores presentes en la mezcla es de aproximadamente 0,05 % en peso a aproximadamente 5 % en peso, basado en el peso seco de la pluralidad de sustratos lignocelulósicos.
48. El método según uno cualquiera de los párrafos 1 a 47, en donde el producto compuesto comprende un tablero de partículas, un tablero de fibras, una madera contrapachada, un tablero de fibra orientada, una madera de chapa estratificada, o un tablero de chapa estratificada.
49. El método según el párrafo 9, en donde al menos 15 % en peso de oxidante está presente cuando la mezcla se calienta a al menos 60 °C.
50. El método según el párrafo 9, en donde al menos 20 % en peso de oxidante está presente cuando la mezcla se calienta a al menos 60 °C.
51. El método según el párrafo 9, en donde al menos 50 % en peso de oxidante está presente cuando la mezcla se calienta a al menos 60 °C.
52. Un producto compuesto, que comprende: una composición al menos parcialmente curada que tiene una densidad de menos de 1 g/cm<sup>3</sup> y una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa, en donde la composición al menos parcialmente curada, antes del curado, comprende una pluralidad de sustratos lignocelulósicos, uno o más precursores de radicales libres, y uno o más compuestos seleccionados del grupo que consiste en: ligninas, taninos, resinas novolac, bis-fenol A, resina de fenol-formaldehído modificada, ácidos húmicos y cualquier mezcla de los mismos.
53. Un producto compuesto que comprende: una composición al menos parcialmente curada que tiene una densidad de menos de 1 g/cm<sup>3</sup> y una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa, en donde la composición, antes del curado, comprende una pluralidad de sustratos lignocelulósicos, uno o más precursores de radicales libres, y uno o más compuestos que comprenden al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo.
54. Un producto compuesto que comprende una mezcla que se ha calentado a una temperatura de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 300 °C, en donde la mezcla, antes de calentarse, comprende una pluralidad de sustratos lignocelulósicos, uno o más precursores de radicales libres, y uno o más compuestos seleccionados del grupo que consiste en: ligninas, taninos, resinas de novolac, bis-fenol A, una resina de fenol-

formaldehído modificada, ácidos húmicos, y cualquier mezcla de los mismos, y en donde la mezcla calentada tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa y una densidad de menos de 1 g/cm<sup>3</sup>.

- 5 55. Un producto compuesto que comprende una mezcla que se ha calentado a una temperatura de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 300 °C, en donde la mezcla, antes de calentarse, comprende una pluralidad de sustratos lignocelulósicos, uno o más precursores de radicales libres, y uno o más compuestos que comprenden al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo, y en donde la mezcla calentada tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa y una densidad de menos de 1 g/cm<sup>3</sup>.
- 10 56. Un producto compuesto interno que tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa y una densidad de menos de 1 g/cm<sup>3</sup>, en donde el producto compuesto comprende una mezcla curada de una pluralidad de sustratos lignocelulósicos, uno o más precursores de radicales libres, y uno o más compuestos seleccionados del grupo que consiste en: ligninas, taninos, resinas de novolac, bis-fenol A, una resina de fenol-formaldehído modificada, ácidos húmicos, y cualquier mezcla de los mismos.
- 15 57. Un producto compuesto interno que tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa y una densidad de menos de 1 g/cm<sup>3</sup>, en donde el producto compuesto comprende una mezcla curada de una pluralidad de sustratos lignocelulósicos, uno o más precursores de radicales libres, y uno o más compuestos que comprenden al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo.
- 20 58. Un producto compuesto interno que tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa y una densidad de menos de 1 g/cm<sup>3</sup>, en donde el producto compuesto comprende una mezcla que se ha calentado a una temperatura de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 300 °C, y en donde antes del calentamiento, la mezcla comprende una pluralidad de sustratos lignocelulósicos, uno o más precursores de radicales libres, y uno o más compuestos seleccionados del grupo que consiste en: ligninas, taninos, resinas de novolac, bis-fenol A, una resina de fenol-formaldehído modificada, ácidos húmicos, y cualquier mezcla de los mismos.
- 25 59. Un producto compuesto que tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa y una densidad de menos de 1 g/cm<sup>3</sup>, en donde el producto compuesto comprende una mezcla que se ha calentado a una temperatura de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 300 °C, y en donde antes del calentamiento, la mezcla comprende una pluralidad de sustratos lignocelulósicos, uno o más precursores de radicales libres, y uno o más compuestos que comprenden al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo.
- 30 60. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 52 a 59, en donde la resistencia del enlace interno del producto compuesto es al menos 0,4 MPa.
- 35 61. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 52 a 59, en donde la resistencia del enlace interno del producto compuesto es al menos 0,45 MPa.
- 40 62. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 52 a 59, en donde la resistencia del enlace interno del producto compuesto es al menos 0,5 MPa.
- 45 63. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 52 a 59, en donde el producto compuesto tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,4 MPa y una densidad de menos de 0,9 g/cm<sup>3</sup>.
- 50 64. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 52 a 59, en donde el producto compuesto tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,4 MPa y una densidad de menos de 0,85 g/cm<sup>3</sup>.
- 65 65. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 52 a 59, en donde el producto compuesto tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,4 MPa y una densidad de menos de 0,8 g/cm<sup>3</sup>.
66. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 52 a 59, en donde el producto compuesto tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,4 MPa y una densidad de menos de 0,75 g/cm<sup>3</sup>.
- 55 67. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 52 a 59, en donde el producto compuesto tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,5 MPa y una densidad de menos de 0,9 g/cm<sup>3</sup>.
- 60 68. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 52 a 59, en donde la densidad del producto compuesto es menos de aproximadamente 0,9 g/cm<sup>3</sup>.
69. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 52 a 59, en donde la densidad del producto compuesto es menos de aproximadamente 0,85 g/cm<sup>3</sup>.
70. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 52 a 59, en donde la densidad del producto compuesto es menos de aproximadamente 0,8 g/cm<sup>3</sup>.

## ES 2 763 452 T3

71. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 52 a 59, en donde la densidad del producto compuesto es menos de aproximadamente 0,75 g/cm<sup>3</sup>.
- 5 72. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 52 a 59, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprende uno o más oxidantes.
73. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 52 a 59, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprende uno o más oxidantes, y en donde el uno o más oxidantes comprende uno o más peroxi-compuestos inorgánicos, uno o más peroxi-compuestos orgánicos, o una combinación de los mismos.
- 10 74. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 52 a 59, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprende uno o más oxidantes, y en donde el uno o más oxidantes comprende peróxido de hidrógeno.
- 15 75. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 52 a 59, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprende uno o más oxidantes y uno o más catalizadores.
76. El producto compuesto según el párrafo 75, en donde el uno o más catalizadores comprende uno o más metales en forma de un complejo unido a uno o más agentes formadores de complejos.
- 20 77. El producto compuesto según el párrafo 76, en donde el uno o más agentes formadores de complejos comprende cianuro (CN<sup>-</sup>), sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), ácido etilendiamina-*N,N'*-disuccínico (EDDS), ácido etilenglicol bis(2-aminoetil éter)-*N,N,N',N'*-tetraacético (EGTA), ácido dietilentriaminapentaacético (DTPA), ácido *trans*-1,2-diaminociclohexano tetraacético (CDTA), iminodisuccinato (IDS), ácido nitrilotracético (NTA), o cualquier mezcla de los mismos.
- 25 78. El producto compuesto según el párrafo 76 o 77, en donde el uno o más metales comprende hierro, cobre, manganeso, tungsteno, molibdeno, cobalto, titanio, o cualquier mezcla de los mismos.
- 30 79. El producto compuesto según el párrafo 75, en donde el uno o más catalizadores comprende uno o más iones metálicos de hierro, cobre, manganeso, tungsteno, molibdeno, cobalto, titanio, o cualquier combinación de los mismos; una o más aminas terciarias; aminas terciarias poliméricas; poliaminas; cualquier mezcla de los mismos; o cualquier combinación de los mismos.
- 35 80. El producto compuesto según el párrafo 75, en donde el uno o más catalizadores se selecciona del grupo que consiste en: ferricianuro de potasio, ácido etilendiaminotetraacético de hierro, ácido (*S,S*)-etilendiamina-*N,N'*-disuccínico de hierro, ácido dietilentriamina pentaacético de hierro, ácido etilenglicol bis(2-aminoetiléter)-*N,N,N',N'*-tetraacético de hierro, ácido *trans*-1,2-diaminociclohexanetetraacético de hierro, y cualquier mezcla de los mismos.
- 40 81. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 52 a 80, en donde el producto compuesto es tablero de partículas.
82. El producto compuesto según el párrafo 81, en donde el tablero de partículas tiene la calidad M-3i que se define en ANSI A208.1-2009 Particleboard.
- 45 83. El producto compuesto según el párrafo 81, en donde el tablero de partículas tiene la calidad M-2 que se define en ANSI A208.1-2009 Particleboard.
84. El producto compuesto según el párrafo 81, en donde el tablero de partículas tiene la calidad M-S que se define en ANSI A208.1-2009 Particleboard.
- 50 85. El producto compuesto según el párrafo 81, en donde el tablero de partículas tiene la calidad M-1 que se define en ANSI A208.1-2009 Particleboard.
86. El producto compuesto según el párrafo 81, en donde el tablero de partículas tiene la calidad M-0 que se define en ANSI A208.1-2009 Particleboard.
- 55 87. El producto compuesto según el párrafo 81, en donde el tablero de partículas tiene la calidad H-3 que se define en ANSI A208.1-2009 Particleboard.
88. El producto compuesto según el párrafo 81, en donde el tablero de partículas tiene la calidad H-2 que se define en ANSI A208.1-2009 Particleboard.
- 60 89. El producto compuesto según el párrafo 81, en donde el tablero de partículas tiene la calidad H-1 que se define en ANSI A208.1-2009 Particleboard.
- 65

90. El producto compuesto según el párrafo 81, en donde el tablero de partículas es material para suelos de tablero de partículas y tiene la calidad M-3 que se define en ANSI A208.1-2009 Particleboard.
- 5 91. El producto compuesto según el párrafo 81, en donde el tablero de partículas es material para suelos de tablero de partículas y tiene la calidad D-3 que se define en ANSI A208.1-2009 Particleboard.
92. El producto compuesto según el párrafo 81, en donde el tablero de partículas es material para suelos de tablero de partículas y tiene la calidad D-2 que se define en ANSI A208.1-2009 Particleboard.
- 10 93. El producto compuesto según el párrafo 81, en donde el tablero de partículas es material para suelos de tablero de partículas y tiene la calidad PBU que se define en ANSI A208.1-2009 Particleboard.
- 15 94. Un método para preparar un producto compuesto, que comprende: combinar una pluralidad de sustratos lignocelulósicos, uno o más oxidantes, y uno o más catalizadores para producir una mezcla, en donde el uno o más catalizadores se selecciona del grupo que consiste en: ferricianuro de potasio, ácido (S,S)-etilendiamina-*N,N'*-disuccínico de hierro, ácido etilenglicol bis(2-aminoetiléter)-*N,N,N',N'*-tetraacético de hierro, ácido *trans*-1,2-diaminociclohexanetetraacético de hierro, ácido nitrilotriacético (NTA), y cualquier mezcla de los mismos; y calentar la mezcla a una temperatura de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 230 °C para producir un producto compuesto.
- 20 95. El método según el párrafo 94, en donde al menos 11 % en peso de oxidante está presente cuando la mezcla se calienta a al menos 60 °C.
- 25 96. El método según el párrafo 95, que comprende, además, mantener la mezcla a una temperatura de menos de 60 °C durante al menos 10 minutos antes de que la mezcla se caliente a la temperatura de al menos 60 °C a aproximadamente 230 °C para producir el producto compuesto.
97. El método según uno cualquiera de los párrafos 94 a 96, en donde el producto compuesto tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa.
- 30 98. El método según uno cualquiera de los párrafos 94 a 97, en donde el producto compuesto tiene una densidad de aproximadamente 0,5 g/cm<sup>3</sup> a aproximadamente 1 g/cm<sup>3</sup>.
- 35 99. El método según uno cualquiera de los párrafos 94 a 98, en donde el producto compuesto tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa y una densidad de menos de 1 g/cm<sup>3</sup>.
100. El método según uno cualquiera de los párrafos 94 a 99, que comprende, además, la combinación de uno o más compuestos polifenólicos con la pluralidad de sustratos lignocelulósicos, el uno o más antioxidantes, y el uno o más catalizadores para producir la mezcla.
- 40 101. El método según el párrafo 100, en donde el uno o más compuestos polifenólicos se selecciona del grupo que consiste en: lignina, taninos, resina novolac, o cualquier combinación de los mismos.
102. El método según el párrafo 101, en donde la lignina está presente y comprende lignosulfonato de amonio.
- 45 103. El método según uno cualquiera de los párrafos 94 a 102, en donde el uno o más antioxidantes comprende uno o más peroxicompuestos inorgánicos, uno o más peroxicompuestos orgánicos, o una combinación de los mismos.
104. El método según el párrafo 103, en donde el uno o más antioxidantes comprende peróxido de hidrógeno.
- 50 105. El método según uno cualquiera de los párrafos 94 a 104, en donde el uno o más antioxidantes está presente en una cantidad de aproximadamente 1 % en peso a aproximadamente 15 % en peso, basado en el peso seco de los sustratos lignocelulósicos.
- 55 106. El método según uno cualquiera de los párrafos 94 a 105, en donde el producto compuesto comprende un tablero de partículas, un tablero de fibras, una madera contrapachada, un tablero de fibra orientada, una madera de chapa estratificada, o un tablero de chapa estratificada.
- 60 107. El método según el párrafo 94, en donde al menos 15 % en peso de oxidante está presente cuando la mezcla se calienta a al menos 60 °C.
108. El método según el párrafo 93, en donde al menos 20 % en peso de oxidante está presente cuando la mezcla se calienta a al menos 60 °C.
- 65 109. El método según el párrafo 94, en donde al menos 50 % en peso de oxidante está presente cuando la mezcla se calienta a al menos 60 °C.

110. El método según el párrafo 1 o 2, en donde una cantidad de energía generada desde la mezcla debido a una o más reacciones exotérmicas entre los componentes de la mezcla es menos de aproximadamente 20 cal/g.
- 5 111. El método según uno cualquiera de los párrafos 3, 6, 9, o 95, en donde antes de calentar la mezcla hasta una temperatura de aproximadamente o al menos 60 °C, una cantidad de energía generada desde la mezcla debido a una o más reacciones exotérmicas entre los componentes de la mezcla es menos de aproximadamente 20 de cal/g de.
- 10 112. El método según uno cualquiera de los párrafos 1, 2, 3, o 6, en donde el precursor de radicales libres comprende un compuesto que tiene la fórmula general  $R-N=N-R'$ , en donde R y R' es independientemente un arilo sustituido o un alquilo sustituido.
- 15 113. El método según uno cualquiera de los párrafos 1, 2, 3, o 6, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprende azobisisobutironitrilo (AIBN).
- 20 114. Un método para preparar un producto compuesto, que comprende: combinar una pluralidad de sustratos lignocelulósicos, uno o más oxidantes, y uno o más catalizadores para producir una mezcla, en donde el uno o más catalizadores comprende un átomo de metal de transición unido a un agente formador de complejos; y calentar la mezcla a una temperatura de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 300 °C para producir un producto compuesto que tiene una densidad de menos de 1 g/cm<sup>3</sup> y una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa, en donde al menos 1 % en peso del uno o más catalizadores que comprenden la pluralidad de átomos de metal de transición unido cada uno de ellos al correspondiente agente de complejación está presente cuando la mezcla se calienta de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 300 °C, basado en el peso seco de la pluralidad de sustratos lignocelulósicos.
- 25 115. Un método para elaborar un producto compuesto, que comprende: combinar una pluralidad de sustratos lignocelulósicos y uno o más precursores de radicales libres para producir una mezcla; manteniendo la mezcla a una temperatura inferior a 60 °C durante al menos 10 minutos; y calentar la mezcla a una temperatura de al menos 60 °C a aproximadamente 300 °C para producir un producto compuesto, en donde una cantidad del uno o más precursores de radicales libres presente cuando la mezcla se calienta a al menos 60 °C es al menos 11 % en peso de uno o más precursores de radicales libres combinado con la pluralidad de sustratos lignocelulósicos, y en donde el producto compuesto tiene una densidad de menos de 1 g/cm<sup>3</sup> y una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa.
- 30 116. Un método para elaborar un producto compuesto, que comprende: combinar una pluralidad de sustratos lignocelulósicos, uno o más precursores de radicales libres, y uno o más compuestos que comprenden al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden extraer en presencia de radicales hidroxilo para producir una mezcla; y calentar la mezcla a una temperatura de al menos 60 °C a aproximadamente 300 °C para producir un producto compuesto, en donde una cantidad del uno o más precursores de radicales libres presente cuando la mezcla se calienta a al menos 60 °C es al menos 11 % en peso del uno o más precursores de radicales libres combinado con la pluralidad de sustratos lignocelulósicos, y el uno o más compuestos que comprenden al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo.
- 35 40 117. El método según el párrafo 115, en donde la mezcla se mantiene a la temperatura de menos de 60 °C durante al menos 20 minutos, y en donde la cantidad del uno o más precursores de radicales libres presente cuando la mezcla se calienta a al menos 60 °C es al menos 25 % en peso del uno o más precursores de radicales libres combinado con la pluralidad de sustratos lignocelulósicos.
- 45 118. El método según el párrafo 115, en donde la mezcla se mantiene a la temperatura de menos de 60 °C durante al menos 30 minutos.
- 50 119. El método según uno cualquiera de los párrafos 115 a 118, en donde el producto compuesto está en forma de un panel que tiene un espesor promedio, y en donde la mezcla se calienta a la temperatura de al menos 60 °C a aproximadamente 300 °C durante de aproximadamente 3 segundos a aproximadamente 20 segundos por milímetro de espesor promedio.
- 55 120. El método según uno cualquiera de los párrafos 115 a 119, en donde antes de calentar la mezcla a la temperatura de al menos 60 °C a aproximadamente 300 °C para producir el producto compuesto, una cantidad de energía generada desde la mezcla debido a cualquier reacción exotérmica es inferior a 20 cal/g.
- 60 121. El método según uno cualquiera de los párrafos 115 a 120, en donde el producto compuesto tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,5 MPa y una densidad de menos de 0,9 g/cm<sup>3</sup>.
- 65 122. El método según uno cualquiera de los párrafos 115 a 121, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprende una mezcla de uno o más oxidantes y uno o más catalizadores.
123. El método según el párrafo 122, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprende una mezcla de peróxido de hidrógeno y uno o más catalizadores que contienen hierro.

124. El método según el párrafo 123, en donde una cantidad del uno o más catalizadores que contienen hierro presentes en la mezcla es de aproximadamente 0,05 % en peso a aproximadamente 5 % en peso, basado en el peso seco de la pluralidad de sustratos lignocelulósicos.
- 5 125. El según uno cualquiera de los párrafos 115 a 124, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprende uno o más catalizadores, y en donde el uno o más catalizadores comprende uno o más metales en forma de un complejo unido a uno o más agentes formadores de complejos.
- 10 126. El método según el párrafo 125, en donde el uno o más agentes formadores de complejos comprende cianuro (CN<sup>-</sup>), sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), ácido etilendiamina-*N,N'*-disuccínico (EDDS), ácido etilenglicol bis(2-aminoetil éter)-*N,N,N',N'*-tetraacético (EGTA), ácido dietilentriaminapentaacético (DTPA), ácido *trans*-1,2-diaminociclohexano tetraacético (CDTA), iminodisuccinato (IDS), ácido nitrilotracético (NTA), o cualquier mezcla de los mismos.
- 15 127. El método según uno cualquiera de los párrafos 115 a 126, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprende uno o más catalizadores y uno o más oxidantes, y en donde el uno o más catalizadores comprende ferricianuro de potasio, ácido etilendiaminotetraacético de hierro, ácido (*S,S*)-etilendiamina-*N,N'*-disuccínico de hierro, ácido dietilentriamina pentaacético de hierro, ácido etilenglicol bis(2-aminoetiléter)-*N,N,N',N'*-tetraacético de hierro, ácido *trans*-1,2-diaminociclohexanetetraacético de hierro, o cualquier mezcla de los mismos.
- 20 128. El método según uno cualquiera de los párrafos 115 a 127, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprende peróxido de hidrógeno.
- 25 129. El método según uno cualquiera de los párrafos 115 o 117 a 128, que comprende, además, la combinación de uno o más compuestos polifenólicos con la pluralidad de sustratos lignocelulósicos y el uno o más precursores de radicales libres para producir la mezcla, en donde el uno o más compuestos polifenólicos comprende lignina, taninos, una resina novolac, resina de fenol-formaldehído modificada, bis-fenol A, ácidos húmicos, o cualquier mezcla de los mismos.
- 30 130. El método según uno cualquiera de los párrafos 116 a 130, en donde la mezcla se mantiene a una temperatura de menos de 60 °C durante al menos 10 minutos antes de calentar la mezcla a la temperatura de al menos 60 °C a aproximadamente 300 °C, y en donde el producto compuesto tiene una densidad inferior a 1 g/cm<sup>3</sup> y una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa.
- 35 131. El método según uno cualquiera de los párrafos 116 a 131, en donde el uno o más compuestos que comprenden al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo comprende lignina, taninos, una resina novolac, bis-fenol A, resina de fenol-formaldehído modificada, ácidos húmicos o cualquier mezcla de los mismos.
- 40 132. El método según uno cualquiera de los párrafos 116 a 131, en donde la cantidad del uno o más precursores de radicales libres presente cuando la mezcla se calienta a al menos 60 °C es al menos 25 % de uno o más precursores de radicales libres combinado con la pluralidad de sustratos lignocelulósicos, y el uno o más compuestos que comprenden al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo.
- 45 133. Un producto compuesto que comprende: una composición al menos parcialmente curada que tiene una densidad de menos de 1 g/cm<sup>3</sup> y una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa, en donde la composición, antes del curado, comprende una pluralidad de sustratos lignocelulósicos, uno o más precursores de radicales libres, y uno o más compuestos que comprenden al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo.
- 50 134. El producto compuesto según el párrafo 133, en donde la resistencia del enlace interno del producto compuesto es al menos 0,4 MPa.
- 55 135. El producto compuesto según el párrafo 133, en donde la resistencia del enlace interno del producto compuesto es al menos 0,45 MPa.
- 60 136. El producto compuesto según el párrafo 133, en donde la resistencia del enlace interno del producto compuesto es al menos 0,5 MPa.
- 65 137. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 133 a 136, en donde el producto compuesto tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,4 MPa y una densidad de menos de 0,9 g/cm<sup>3</sup>.
138. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 133 a 137, en donde el producto compuesto tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,4 MPa y una densidad de menos de 0,85 g/cm<sup>3</sup>.
139. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 133 a 138, en donde el producto compuesto tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,4 MPa y una densidad de menos de 0,8 g/cm<sup>3</sup>.

140. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 133 a 139, en donde el producto compuesto tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,4 MPa y una densidad de menos de 0,75 g/cm<sup>3</sup>.
- 5 141. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 133 a 140, en donde el producto compuesto tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,5 MPa y una densidad de menos de 0,9 g/cm<sup>3</sup>.
142. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 133 a 141, en donde la densidad del producto compuesto es menos de aproximadamente 0,9 g/cm<sup>3</sup>.
- 10 143. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 133 a 142, en donde la densidad del producto compuesto es menos de aproximadamente 0,85 g/cm<sup>3</sup>.
144. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 133 a 143, en donde la densidad del producto compuesto es menos de aproximadamente 0,8 g/cm<sup>3</sup>.
- 15 145. El producto compuesto según uno cualquiera de los párrafos 133 a 144, en donde la densidad del producto compuesto es menos de aproximadamente 0,75 g/cm<sup>3</sup>.
- 20 146. Un método para elaborar un producto compuesto, que comprende: combinar una pluralidad de sustratos lignocelulósicos y uno o más precursores de radicales libres para producir una mezcla de los sustratos lignocelulósicos y el uno o más precursores de radicales libres; mantener la mezcla a una temperatura inferior a 60 °C durante al menos 10 minutos mientras se retiene al menos 11 % en peso de uno o más precursores de radicales libres cargados en la mezcla; y posteriormente calentar la mezcla que comprende al menos 11 % en peso del uno o más precursores de radicales libres cargado en la mezcla a una temperatura de al menos 60 °C a aproximadamente 300 °C para producir un producto compuesto que tiene una densidad inferior a 1 g/cm<sup>3</sup> y una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa.
- 25 147. El método según el párrafo 146, en donde la mezcla se mantiene a la temperatura de menos de 60 °C durante al menos 20 minutos mientras retiene al menos 25 % en peso de uno o más precursores de radicales libres cargado en la mezcla, y en donde la mezcla comprende al menos 25 % en peso del uno o más precursores de radicales libres cargado en mezcla se calienta a la temperatura de al menos 60 °C a aproximadamente 300 °C para producir el producto compuesto.
- 30 148. El método según el párrafo 146 o 147, en donde la mezcla se mantiene a una temperatura de menos de 60 °C durante al menos 30 minutos mientras se retiene al menos 11 % en peso de uno o más precursores de radicales libres cargados en la mezcla.
- 35 149. El método según uno cualquiera de los párrafos 146 a 148, en donde el producto compuesto está en forma de un panel que tiene un espesor promedio, y en donde la mezcla se calienta a la temperatura de al menos 60 °C a aproximadamente 300 °C durante de aproximadamente 3 segundos a aproximadamente 20 segundos por milímetro de espesor promedio.
- 40 150. El método según uno cualquiera de los párrafos 146 a 149, en donde, antes de calentar la mezcla que comprende al menos 11 % en peso de uno o más precursores de radicales libres cargado en la mezcla a la temperatura de al menos 60 °C a aproximadamente 300 °C para producir el producto compuesto, una cantidad de energía generada desde la mezcla debido a cualquier reacción exotérmica es inferior a 20 cal/g.
- 45 151. El método según uno cualquiera de los párrafos 146 a 150, en donde el producto compuesto tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,5 MPa y una densidad de menos de 0,9 g/cm<sup>3</sup>.
- 50 152. El método según uno cualquiera de los párrafos 146 a 152, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprende una mezcla de uno o más oxidantes y uno o más catalizadores.
153. El método según uno cualquiera de los párrafos 146 a 153, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprende una mezcla de peróxido de hidrógeno y uno o más catalizadores que contienen hierro.
- 55 154. El método según el párrafo 153, en donde una cantidad del uno o más catalizadores que contienen hierro presentes en la mezcla es de aproximadamente 0,05 % en peso a aproximadamente 5 % en peso, basado en el peso seco de la pluralidad de sustratos lignocelulósicos.
- 60 155. El método según uno cualquiera de los párrafos 146 a 154, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprende uno o más catalizadores, y en donde el uno o más catalizadores comprende uno o más metales en forma de un complejo unido a uno o más agentes formadores de complejos.
- 65 156. El método según el párrafo 155, en donde el uno o más agentes formadores de complejos comprende cianuro (CN<sup>-</sup>), sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), ácido etilendiamino-*N,N'*-disuccínico (EDDS), ácido etilenglicol bis(2-aminoetil éter)-*N,N,N',N'*-tetraacético (EGTA), ácido dietilentriaminapentaacético

(DTPA), ácido *trans*-1,2-diaminociclohexano tetraacético (CDTA), iminodisuccinato (IDS), ácido nitrilotracético (NTA), o cualquier mezcla de los mismos.

5 157. El método según uno cualquiera de los párrafos 146 a 156, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprende uno o más catalizadores y uno o más oxidantes, y en donde el uno o más catalizadores comprende ferricianuro de potasio, ácido etilendiaminotetraacético de hierro, ácido (S,S)-etilendiamina-*N,N'*-disuccínico de hierro, ácido dietilentriamina pentaacético de hierro, ácido etilenglicol bis(2-aminoetiléter)-*N,N,N',N'*-tetraacético de hierro, ácido *trans*-1,2-diaminociclohexanetetraacético de hierro, o cualquier mezcla de los mismos.

10 158. El método según uno cualquiera de los párrafos 146 a 157, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprende peróxido de hidrógeno.

15 159. El método según uno cualquiera de los párrafos 146 a 158, que comprende, además, la combinación de uno o más compuestos polifenólicos con la pluralidad de sustratos lignocelulósicos y el uno o más precursores de radicales libres para producir la mezcla, en donde el uno o más compuestos polifenólicos comprende lignina, taninos, una resina novolac, resina de fenol-formaldehído modificada, bis-fenol A, ácidos húmicos, o cualquier mezcla de los mismos.

20 160. Un método para elaborar un producto compuesto, que comprende: combinar una pluralidad de sustratos lignocelulósicos, uno o más precursores de radicales libres, y uno o más compuestos que comprenden al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden extraer en presencia de radicales hidroxilo para producir una mezcla; y calentar la mezcla que comprende al menos 11 % en peso del uno o más precursores de radicales libres cargados en la mezcla a una temperatura de al menos 60 °C a aproximadamente 300 °C para producir un producto compuesto.

25 161. El método según el párrafo 160, en donde la mezcla se mantiene a una temperatura de menos de 60 °C durante al menos 10 minutos antes de calentar la mezcla que comprende al menos 11 % en peso del uno o más precursores de radicales libres cargado en la mezcla a la temperatura de al menos 60 °C a aproximadamente 300 °C, y en donde el producto compuesto tiene una densidad inferior a 1 g/cm<sup>3</sup> y una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa.

30 162. El método según el párrafo 160 o el párrafo 161, en donde el uno o más compuestos que comprenden al menos dos átomos de hidrógeno que se pueden retirar en presencia de radicales hidroxilo comprende lignina, taninos, una resina novolac, bis-fenol A, resina de fenol-formaldehído modificada, ácidos húmicos o cualquier mezcla de los mismos.

35 163. El método según uno cualquiera de los párrafos 160 a 162, en donde la mezcla comprende al menos 20 % en peso de uno o más precursores de radicales libres cargado en la mezcla cuando se calienta a la temperatura de al menos 60 °C a aproximadamente 300 °C para producir el producto compuesto.

40 164. El método según uno cualquiera de los párrafos 160 a 163, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprende uno o más catalizadores y uno o más oxidantes, y en donde el uno o más catalizadores comprende ferricianuro de potasio, ácido etilendiaminotetraacético de hierro, ácido (S,S)-etilendiamina-*N,N'*-disuccínico de hierro, ácido dietilentriamina pentaacético de hierro, ácido etilenglicol bis(2-aminoetiléter)-*N,N,N',N'*-tetraacético de hierro, ácido *trans*-1,2-diaminociclohexanetetraacético de hierro, o cualquier mezcla de los mismos.

45 Algunas realizaciones y características se han descrito utilizando un conjunto de límites numéricos superiores y un conjunto de límites numéricos inferiores. Debe apreciarse que los intervalos que incluyen la combinación de cualesquiera dos valores, por ejemplo, la combinación de cualquier valor inferior con cualquier valor superior, la combinación de cualesquiera dos valores más bajos y/o la combinación de cualesquiera dos valores más altos se contemplan salvo que se indique lo contrario. Ciertos límites inferiores, límites superiores e intervalos aparecen en una o más de las reivindicaciones siguientes.

50 Varios términos se han definido anteriormente. En la medida que un término utilizado en una reivindicación no se haya definido anteriormente, tendrá la definición más amplia que los expertos en la técnica hayan dado al término como se refleja en al menos una publicación impresa o patente concedida.

55 La presente solicitud también describe lo siguiente:

1. Un método para fabricar un producto compuesto, que comprende:

60 combinar una pluralidad de sustratos lignocelulósicos y uno o más precursores de radicales libres para producir una mezcla de los sustratos lignocelulósicos y el uno o más precursores de radicales libres;

mantener la mezcla a una temperatura de menos de 60 °C durante al menos 10 minutos mientras se retiene al menos 11 % en peso del uno o más precursores de radicales libres cargados en la mezcla; y a continuación

65 calentar la mezcla que comprende al menos 11 % en peso del uno o más precursores de radicales libres cargados en la mezcla a una temperatura de al menos 60 °C a aproximadamente 300 °C para producir

un producto compuesto que tiene una densidad de menos de 1 g/cm<sup>3</sup> y una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa.

- 5 2. El método del punto 1, en donde la mezcla se mantiene a la temperatura de menos de 60 °C durante al menos 20 minutos mientras se retiene al menos 25 % en peso del uno o más precursores de radicales libres cargados en la mezcla, y en donde la mezcla que comprende al menos 25 % en peso del uno o más precursores de radicales libres cargados en la mezcla se calienta a la temperatura de al menos 60 °C a aproximadamente 300 °C para producir el producto compuesto.
- 10 3. El método del punto 1, en donde la mezcla se mantiene a la temperatura de menos de 60 °C durante al menos 30 minutos mientras se retiene al menos 11 % en peso de los precursores de radicales libres cargados en la mezcla.
- 15 4. El método del punto 1, en donde el producto compuesto está en forma de un panel que tiene un espesor promedio, y en donde la mezcla se calienta a la temperatura de al menos 60 °C a aproximadamente 300 °C durante aproximadamente 3 segundos a aproximadamente 20 segundos por milímetro del espesor promedio.
- 20 5. El método del punto 1, en donde, antes de calentar la mezcla que comprende al menos 11 % en peso del uno o más precursores de radicales libres cargados en la mezcla a la temperatura de al menos 60 °C a aproximadamente 300 °C para producir el producto compuesto, una cantidad de energía generada a partir de la mezcla debido a cualquier reacción exotérmica es inferior a 20 cal/g.
- 25 6. El método del punto 1, en donde el producto compuesto tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,5 MPa y una densidad de menos de 0,9 g/cm<sup>3</sup>.
7. El método del punto 1, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprende una mezcla de uno o más oxidantes y uno o más catalizadores.
- 30 8. El método del punto 1, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprende una mezcla de peróxido de hidrógeno y uno o más catalizadores que contienen hierro.
- 35 9. El método del punto 8, en donde una cantidad del uno o más catalizadores que contienen hierro presentes en la mezcla es de aproximadamente 0,05 % en peso a aproximadamente 5 % en peso, basado en el peso seco de la pluralidad de sustratos lignocelulósicos.
- 40 10. El método del punto 1, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprenden uno o más catalizadores y en donde el uno o más catalizadores comprenden uno o más metales en forma de un complejo unido a uno o más agentes formadores de complejos.
- 45 11. El método del punto 10, en donde el uno o más agentes formadores de complejos incluyen cianuro (CN<sup>-</sup>), sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), ácido etilendiamina-*N,N'*-disuccínico (EDDS), ácido etilenglicol bis(2-aminoetiléter)-*N,N,N',N'*-tetraacético (EGTA), ácido dietilentriaminapentaacético (DTPA), ácido *trans*-1,2- diaminociclohexano tetraacético (CDTA), iminodisuccinato (IDS), ácido nitrilotriacético (NTA), o cualquier mezcla de los mismos.
- 50 12. El método del punto 1, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprenden uno o más catalizadores y uno o más oxidantes y en donde el uno o más catalizadores comprenden ferricianuro de potasio, ácido etilendiaminotetraacético de hierro, ácido (S,S)-etilendiamina-*N,N'*-disuccínico de hierro, ácido dietilentriamina pentaacético de hierro, ácido etilenglicol bis(2-aminoetiléter)-*N,N,N',N'*-tetraacético de hierro, ácido *trans*-1,2-diaminociclohexanetetraacético de hierro, o cualquier mezcla de los mismos.
- 55 13. El método del punto 1, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprenden peróxido de hidrógeno.
- 60 14. El método de punto 1, que comprende, además, la combinación de uno o más compuestos polifenólicos con la pluralidad de sustratos lignocelulósicos y el uno o más precursores de radicales libres para producir la mezcla, en donde el uno o más compuestos polifenólicos comprende lignina, taninos, una resina novolac, resina de fenol-formaldehído modificada, bis-fenol A, ácidos húmicos, o cualquier mezcla de los mismos.
- 65 15. Un método para fabricar un producto compuesto, que comprende:  
combinar una pluralidad de sustratos lignocelulósicos, uno o más precursores de radicales libres y uno o más compuestos comprendiendo al menos dos átomos de hidrógeno que son extraíbles en presencia de radicales de hidroxilo para producir una mezcla; y

calentar la mezcla que comprende al menos el 11% en peso de uno o más precursores de radicales libres cargados en la mezcla a una temperatura de al menos 60°C a aproximadamente 300°C para producir un producto compuesto.

- 5 16. El método del punto 15, en donde la mezcla se mantiene a la temperatura de menos de 60 °C durante al menos 10 minutos antes de calentar la mezcla que contiene al menos un 11% en peso del uno o más precursores de radicales libres cargados en la mezcla a la temperatura de al menos 60 °C a aproximadamente 300 °C y en donde el producto compuesto tiene una densidad menor a 1 g/cm<sup>3</sup> y una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa.
- 10 17. El método del punto 15, en donde el uno o más compuestos que comprenden al menos dos átomos de hidrógeno que son extraíbles en presencia de radicales de hidroxilo comprenden lignina, taninos, una resina novolac, bis-fenol A, resina de fenol-formaldehído modificada, ácidos húmicos, o cualquier mezcla de los mismos.
- 15 18. El método del punto 15, en donde la mezcla comprende al menos 20% en peso de uno o más precursores de radicales libres cargados en la mezcla cuando se calienta a la temperatura de al menos 60 °C a aproximadamente 300 °C para producir el producto compuesto.
- 20 19. El método del punto 1, en donde el uno o más precursores de radicales libres comprenden uno o más catalizadores y uno o más oxidantes, y en donde el uno o más catalizadores comprenden ferricianuro de potasio, un complejo de hierro del ácido etilendiaminotetraacético, un complejo de hierro del ácido (S,S)-etilendiamina-*N,N'*-disuccínico, un complejo de hierro del ácido dietilentriamina pentaacético, un complejo de hierro del ácido etilenglicol-bis(2-aminoetil)-*N,N,N',N'*-tetraacético, un complejo de hierro del ácido *trans*-1,2-diaminociclohexanetetraacético, o cualquier mezcla de los mismos.
- 25 20. Un producto compuesto, que comprende:  
una composición curada al menos parcialmente que tiene una densidad menor a 1 g/cm<sup>3</sup> y una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa, en donde la composición, antes del curado, comprende una pluralidad de sustratos lignocelulósicos, uno o más precursores de radicales libres y uno o más compuestos comprenden al menos dos átomos de hidrógeno que son extraíbles en presencia de radicales de hidroxilo.
- 30

## REIVINDICACIONES

1. Un método para fabricar un producto compuesto, que comprende:
  - 5 combinar una pluralidad de sustratos lignocelulósicos y uno o más precursores de radicales libres que comprenden un catalizador y un oxidante para producir una mezcla de los sustratos lignocelulósicos y el uno o más precursores de radicales libres;
  - 10 mantener la mezcla a una temperatura de menos de 60 °C durante al menos 10 minutos mientras se retiene al menos 11 % en peso del oxidante cargado en la mezcla; y a continuación
  - 15 calentar la mezcla que comprende al menos 11 % en peso del oxidante cargado en la mezcla a una temperatura de al menos 60 °C a 300 °C para producir un producto compuesto que tiene una densidad de menos de 1 g/cm<sup>3</sup> y una resistencia del enlace interno de al menos 0,35 MPa.
2. El método según la reivindicación 1, en donde la mezcla se mantiene a la temperatura de menos de 60 °C durante al menos 20 minutos mientras retiene al menos 25 % en peso del oxidante cargado en la mezcla, y en donde la mezcla que comprende al menos 25 % en peso del oxidante cargado en la mezcla se calienta a la temperatura de al menos 60 °C a 300 °C para producir el producto compuesto.
3. El método de la reivindicación 1, en donde la mezcla se mantiene a la temperatura de menos de 60 °C durante al menos 30 minutos mientras se retiene al menos 11 % en peso del oxidante cargado en la mezcla.
4. El método de la reivindicación 1, en donde el producto compuesto está en forma de un panel que tiene un espesor promedio, y en donde la mezcla se calienta a la temperatura de al menos 60 °C a 300 °C durante 3 segundos a 20 segundos por milímetro de espesor promedio.
5. El método de la reivindicación 1, en donde, antes de calentar la mezcla que comprende al menos 11 % en peso del oxidante cargado en la mezcla a la temperatura de al menos 60 °C a 300 °C para producir el producto compuesto, una cantidad de energía generada desde la mezcla debido a cualquier reacción exotérmica es inferior a 20 cal/g.
6. El método de la reivindicación 1, en donde el producto compuesto tiene una resistencia del enlace interno de al menos 0,5 MPa y una densidad de menos de 0,9 g/cm<sup>3</sup>.
7. El método de la reivindicación 1, en donde el oxidante comprende peróxido de hidrógeno.
8. El método de la reivindicación 1, en donde el oxidante comprende peróxido de hidrógeno y el catalizador comprende uno o más catalizadores que contienen hierro.
9. El método de la reivindicación 8, en donde una cantidad del uno o más catalizadores que contienen hierro presentes en la mezcla es de 0,5 % en peso a 5 % en peso, basado en el peso seco de la pluralidad de sustratos lignocelulósicos.
10. El método de la reivindicación 1, en donde el catalizador comprende uno o más metales en forma de un complejo unido a uno o más agentes formadores de complejos.
11. El método de la reivindicación 10, en donde el uno o más agentes formadores de complejos incluyen cianuro, sulfato, ácido etilendiaminotetraacético, ácido etilendiamina-*N,N'*-disuccínico, ácido etilenglicol bis(2-aminoetiléter)-*N,N,N',N'*-tetraacético, ácido dietilentriaminapentaacético, ácido *trans*-1,2-diaminociclohexano tetraacético, iminodisuccinato, ácido nitrilotriacético, o cualquier mezcla de los mismos.
12. El método de la reivindicación 1, en donde el catalizador comprende ferricianuro de potasio, ácido etilendiaminotetraacético de hierro, ácido (S,S)-etilendiamina-*N,N'*-disuccínico de hierro, ácido dietilentriamina pentaacético de hierro, ácido etilenglicol bis(2-aminoetiléter)-*N,N,N',N'*-tetraacético de hierro, ácido *trans*-1,2-diaminociclohexanetetraacético de hierro, o cualquier mezcla de los mismos.
13. El método de la reivindicación 1, que comprende, además, la combinación de uno o más compuestos polifenólicos con la pluralidad de sustratos lignocelulósicos y el uno o más precursores de radicales libres para producir la mezcla, en donde el uno o más compuestos polifenólicos comprende lignina, taninos, una resina novolac, resina de fenol-formaldehído modificada, bis-fenol A, ácidos húmicos, o cualquier mezcla de los mismos.
14. El método según la reivindicación 1, en donde la mezcla se mantiene a la temperatura de menos de 60 °C durante al menos 20 minutos mientras retiene al menos 35 % en peso del oxidante cargado en la mezcla, y en donde la mezcla que comprende al menos 35 % en peso del oxidante cargado en la mezcla

se calienta a la temperatura de al menos 60 °C a 300 °C para producir el producto compuesto uno o más precursores de radicales libres comprende peróxido de hidrógeno.

15. El método de la reivindicación 1, en donde:

5

el oxidante comprende peróxido de hidrógeno,

10

el catalizador comprende ferricianuro de potasio, un complejo de hierro del ácido etilendiaminotetraacético, un complejo de hierro del ácido (S,S)-etilendiamina-*N,N'*-disuccínico, un complejo de hierro del ácido dietilentriamina pentaacético, un complejo de hierro del ácido etilenglicol-bis(2-aminoetil)-*N,N,N',N'*-tetraacético, un complejo de hierro del ácido *trans*-1,2- diaminociclohexanetetraacético, o cualquier mezcla de los mismos, y

15

la mezcla comprende de 0,01 % en peso a 5 % en peso del catalizador y de 0,1 % en peso a 200 % en peso del peróxido de hidrógeno, basado en el peso seco de la pluralidad de sustratos lignocelulósicos